

---

# **Automatisk klassifikasjon av V-daler**

**- algoritme for ekstraksjon av skråningsprofilobjekter  
fra digitale høydemodeller**

**Svein Olav Krøgli**



Hovedoppgave i geografi (geometrikk)

Institutt for geofag

Universitetet i Oslo

Våren 2004

---



# Forord

Hovedfagsoppgaven inngår som en del av Cand. Scient. studiet ved studieretningen Geometrikk, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo. Oppgaven er gitt og veiledet av Bernd Etzelmüller.

En spesiell takk til Bernd Etzelmüller for veiledning, motivasjon og engasjement.

Jeg vil også takke Jon T. Tolgensbak for verifisering av "ground truth" referansedata benyttet til sammenligning med klassifikasjonsdata og Trond Eiken for tilretteleggelse av en terrengmodell til Arc/Info grid format.

Ellers rettes en takk til medstudenter for bra miljø.

Blindern, februar 2004

Svein Olav Krøgli



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>7</b>
2.1	Geomorfometri . . . . .	7
2.1.1	Digital terrengmodell . . . . .	8
2.1.2	Terrengparametre . . . . .	10
2.1.3	Geomorfometriske objekter . . . . .	12
2.1.4	Klassifikasjon . . . . .	14
2.2	Geomorfologi . . . . .	14
2.3	Skråningsprofil . . . . .	17
2.4	Multivariat dataanalyse . . . . .	18
2.4.1	Styrt klassifikasjon . . . . .	20
2.4.2	Ikke-styrt klassifikasjon . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>25</b>
3.1	Ekstraksjon av skråningsprofilobjekter . . . . .	26
3.1.1	Før-prosessering . . . . .	26
3.1.2	Algoritme . . . . .	27
3.2	Analyse . . . . .	33
3.2.1	Variabler . . . . .	36
3.2.2	Objektklassifikasjon . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>45</b>
4.1	Profiler . . . . .	45
4.2	Variabler . . . . .	45
4.3	Klassifiserte profiler . . . . .	49
4.4	V-dal . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>75</b>

<b>Referanser</b>	<b>77</b>
<b>Tillegg</b>	<b>80</b>
<b>A Programkode</b>	<b>81</b>
A.1 Algoritme . . . . .	81
A.2 Lese/skrive funksjoner . . . . .	98
<b>B Arc Macro Language (aml)</b>	<b>103</b>
B.1 Før algoritmen . . . . .	103
B.2 Etter algoritmen . . . . .	105
B.3 Manuelt valg av startpunkter . . . . .	106
<b>C Treningsprofiler for styrt klassifikasjon</b>	<b>109</b>

# Figurer

1.1	Flytskjema problemstilling . . . . .	3
1.2	Testområdet Adventdalen . . . . .	4
1.3	Testområdet Jotunheimen . . . . .	5
1.4	Treningsområdet Coloradofjella . . . . .	6
2.1	Trekantrelasjon . . . . .	9
2.2	Geomorfometriske objekter . . . . .	13
2.3	Daldannelse . . . . .	15
2.4	V-dal . . . . .	16
2.5	Skråning . . . . .	19
3.1	Flytskjema metodeprosessen . . . . .	25
3.2	Klassifisert helning . . . . .	28
3.3	Antall grupper og antall i gruppa . . . . .	29
3.4	Størrelsesterskel . . . . .	29
3.5	Fylle igjen dalsider . . . . .	29
3.6	Daler . . . . .	30
3.7	Finne omrisset til dalene . . . . .	30
3.8	Omrisset til dalene . . . . .	31
3.9	Finne startpunkter . . . . .	31
3.10	Startpunkter . . . . .	32
3.11	Dreneringssystem . . . . .	33
3.12	Profilbygging . . . . .	34
3.13	Fjerne små profiler . . . . .	35
3.14	Profiler . . . . .	35
3.15	Profil illustrasjon . . . . .	36
3.16	Flytskjema algoritme . . . . .	37
3.17	Flytskjema analyse . . . . .	38
3.18	Nye variable . . . . .	40
3.19	Ratio og Vinkel . . . . .	41
4.1	Profiler Adventdalen . . . . .	46

4.2	Treningsprofiler . . . . .	47
4.3	Styrt klassifikasjon 8 variable . . . . .	51
4.4	Ikke-styrt klassifikasjon Adventdalen 8 variable . . . . .	54
4.5	Styrt klassifikasjon Adventdalen 2 variable . . . . .	57
4.6	Ikke-styrt klassifikasjon Adventdalen 2 variable . . . . .	59
4.7	Referansedata . . . . .	61
4.8	To-dimensjonal clustering . . . . .	64
4.9	Styrt klassifikasjon Jotunheimen 2 variable . . . . .	65
4.10	V-dal . . . . .	67
4.11	V-dal . . . . .	68
C.1	Utvalgte profiler . . . . .	110
C.2	Utvalgte profiler . . . . .	111
C.3	Utvalgte profiler . . . . .	112
C.4	Utvalgte profiler . . . . .	113
C.5	Utvalgte profiler . . . . .	114



# Tabeller

3.1	Profilvariable . . . . .	39
3.2	Variabler . . . . .	42
4.1	Korrelasjonsmatrise . . . . .	48
4.2	Uavhengige variable . . . . .	49
4.3	Sammendrag av styrt klassifisering 8 variable . . . . .	50
4.4	Diskriminant funksjon 8 variable . . . . .	52
4.5	Variabel gjennomsnitt styrt klassifisering 8 variable . . . . .	52
4.6	Variabel gjennomsnitt ikke-styrt klassifisering 8 variable . . . . .	53
4.7	Sammendrag av styrt klassifisering 2 variable . . . . .	55
4.8	Diskriminant funksjon 2 variable . . . . .	55
4.9	Variabel gjennomsnitt styrt klassifisering 2 variable . . . . .	56
4.10	Variabel gjennomsnitt ikke-styrt klassifisering 2 variable . . . . .	58
4.11	Feilmatrise styrt klassifisering 8 variable . . . . .	60
4.12	Feilmatrise ikke-styrt klassifisering 8 variable . . . . .	62
4.13	Feilmatrise styrt klassifisering 2 variable . . . . .	62
4.14	Feilmatrise ikke-styrt klassifisering 2 variable . . . . .	63
4.15	Oversikt over Ratio og Vinkel verdier for utvalgte profiler . . . . .	64



# Kapittel 1

## Innledning

### Bakgrunn

Det meste av Norges landoverflate er preget av sammenhengende fjellområder med vidder og avrundete fjellhøyder, heier og åser med vide daler og senkninger. Tilsammen utgjør disse landformene det som er blitt kalt Norges paleiske overflate (Gjessing 1990). Stor-skala geomorfologi i Norge blir ofte delt (Bonow, Lidmar-Bergstrom og Naslund 2003) i den paleiske (gamle) overflaten og i yngre fluvialt nedskårne daler, og glasiale landformer.

Dannelsen av den paleiske overflaten har mest sannsynlig foregått i det varmere klima som hersket i tertiærtiden. Etter at den paleiske overflaten var ferdig dannet, omtrent slik den ser ut i dag, forandret klimaet seg i den senere delen av tertiærtiden. Aktiviteten av de nedtærende prosessene ble mer konsentrert langs elvene. Sammen med landhevingen i tertiærtiden førte dette til dannelsen av elvedaler som ble skåret ned i de paleiske formene, mens disse ellers ble lite forandret (Gjessing 1990). I kvartærtiden intraff en rekke sterke klimasvingninger som førte til at Nord-Europa gjentatte ganger ble dekket av en stor innlandsis. Mellom istidene var klimaet og de landformdannende prosessene mest lik nåtidens. Kvartertidsens breer omformet og videreformet dalene som var dannet av elvene før istidene (Gjessing 1990).

V-dal er en fluvialt formet dal, der tverrprofilen har form som en stor V (Gjessing 1990). Tverrprofiler av daler vil kunne vise effekten av glasial omforming av tidligere fluviale daler (Bonow et al. 2003). V-daler viser dermed hvor de landskapsdannende isbreene ikke har vært og indikerer at det ikke har foregått glasial erosjon. Ved å kartlegge disse områdene, kan V-dalenes romlige fordeling, retning, areal og volum i en preglasial situasjon studeres, likeså langtids ikke-glasial landformsutvikling og isens utstrekning. Det er derfor interessant å finne en metode for å identifisere slike områder.

Automatikken av terrenganalyse og bruk av digitale terrengmodeller har gjort det mulig å kvantifisere de topografiske attributtene til et landskap (Moore, Lewis og Gallant 1993). Dikau (1989), Graff og Usery (1993) og McDermid og Franklin (1995) gir alle eksempler på geomorfometriske metoder, der klassifikasjon av landformer basert på kvantifisering av terrenget er en stor disiplin. Dal, dalgrenser og dallinjer er også velkjente studieområder innenfor geomorfometrien (Bakker, Morad og Lowe 1996, Chang, Song og Hsu 1998, Qian, Lu og Chen 2000, Skidmore 1990, Tribe 1992). Det vil i oppgaven bli utført en kvantitativ landformanalyse av V-daler med topografiske attributter (geomorfometriske terrengparametre) beregnet fra en digital høydemodell. Målsettingen er at disse terrengparametrene beskriver topografisk form godt nok til å kunne skille og klassifisere landskaper formet av forskjellige prosesser.

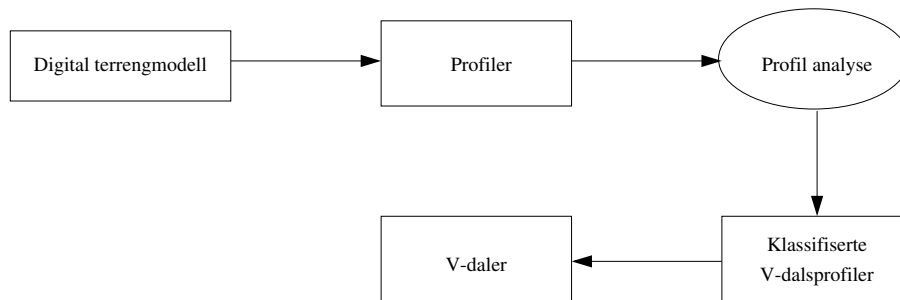
Framskritt innenfor datateknologi de siste tjue år har revolusjonert terrenganalysen. Det eksisterer i dag en stor mengde geomorfometriske metoder og programvare for å kvantifisere landformer. Den økende utviklingen av teknologi inneholder en risiko for å skifte fra vitenskapelig framgang til teknologisk framgang. Bruk av avanserte teknikker og verktøy bør være basert på en teoretisk platform (Dikau 1996 ref. i Schmidt 1999). Det er i denne oppgaven brukt de geografiske informasjonssystem (GIS) verktøyene Arc/Info og ArcView (ESRI 2001). Da GIS-programmer ofte har et begrenset statistisk repertoar (Burrough og McDonnell 1998), er det brukt Minitab (Minitab 2000) for å utføre de statistiske analysene. Algoritmen er programmert i c++. En automatisk teknikk med digitale terrengmodeller som input vil kunne spare tid og være mindre kostbar enn ved å benytte feltkartlegging og flyfototolkning, når det gjelder store datamengder. Automatikk vil være til hjelp med å skaffe en bred dekning ved standardiserte metoder og gjør det mulig å sammenligne parametre fra forskjellige områder (Evans 1972).

## Problemstilling og hypoteser

Målet er en automatisk klassifikasjon av V-daler, med digitale høydemodeller som eneste datakilde. Hypotesen blir da som følger:

Det er mulig å kvantitativt skille ut V-daler fra en digital høydemodell.

Det vil bli gjennomført et forsøk på å verifisere denne hypotesen ved å se på formen til dalsidene. Nærmere bestemt vil en klassifikasjon av V-daler bli basert på tverrprofiler av dalsidene. Det er gjennomført flere studier hvor landformer er representert med topografiske profiler (Blong 1975, Chorowicz, Parrot, Taud, Hakdaoui, Rudant og Rouis 1995, Dikau 1989, Gjessing 1966, McDermid 1995, Qian et al. 2000, Rasemann og Schmidt 2001, Tribe 1992). En topografisk tverrprofil



Figur 1.1: Flytskjema problemstilling.

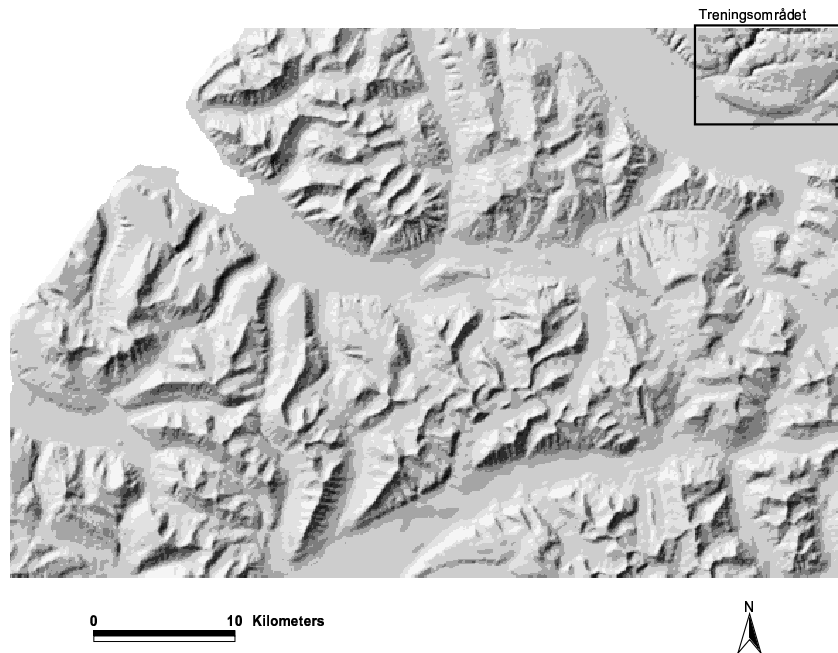
av en dal følger i denne oppgaven definisjonene til en skråningsprofil. McDermid (1995) og Rasemann og Schmidt (2001) har sett på teknikker for ekstraksjon av skråningsprofiler fra digitale høydemodeller. En rekke attributter (terrengparametre) til skråningsprofiler som kan inngå i en klassifikasjon er beskrevet i litteraturen (McDermid 1995, McDermid og Franklin 1995, Pike 1988). Attributtene, og dermed formen på profilene, analyseres kvantitativt. Mer spesialisert blir da hypotesen:

Det er mulig å kvantitativt skille ut V-daler fra en digital høydemodell ved å benytte skråningsprofiler.

Med den siste hypotesen som utgangspunkt, blir problemstillingen å utføre følgende oppgaver:

- (i) Metode for å trekke ut profiler fra digitale høydemodeller
- (ii) Generere parametre/variabler fra profiler
- (iii) Statistisk analyse av variabler
- (iv) Klassifisere profiler
- (v) Ta steget fra V-dalsprofiler til V-daler

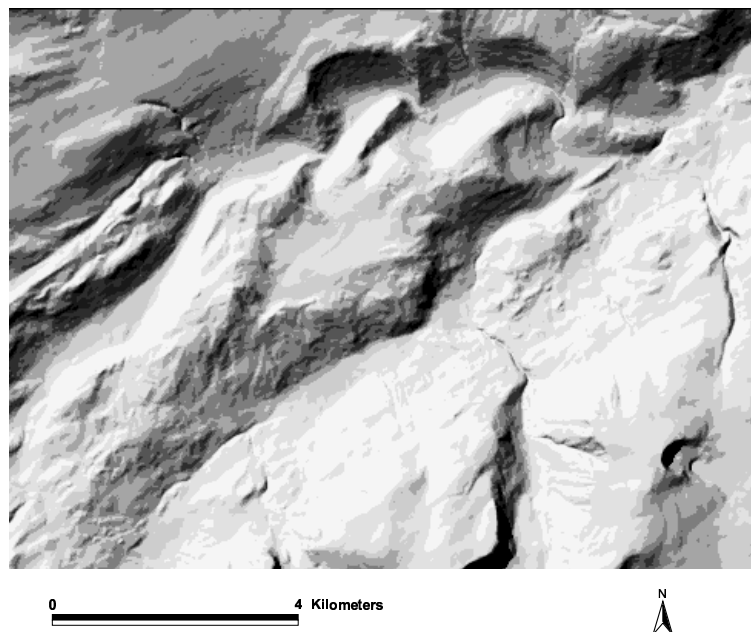
Klassifisering vil her skje av profiler. Det er altså ikke bare en bestemt sammensetning av celledverdier i en terrengmodell som er basis for klassifikasjonen. Naboskapet mellom celler vil først bli studert, og det defineres lineære rekker av celler som utgjør profilobjekter. Klassifiseringen vil da skje på et høyere nivå med variable fra profilobjektene som klassifiseringsgrunnlag. Klassifiserte profiler vil bli relatert til daler. Figur 1.1 viser et flytskjema over oppgavens tilnærming til problemstillingen.



Figur 1.2: Testområdet Adventdalen. Skyggemodell fra et område som dekker Adventdalen beregnet fra en digital høydemodell. Oppløsning 100 m. Treningsområdet Coloradofjella ligger i nordøstre hjørne.

## Treningsområde og testområder

Oppgaven gjør bruk av et treningsområde og to testområder. To testområder er valgt for å se på effekten av forskjellig oppløsning og varierende landskap. Et av testområdene ligger på Svalbard. På Svalbard er det vanlig med V-formede daler, og omkring Adventdalens åpne brede dal er tettheten av V-daler høy (Rudberg 1982). Testområdet Adventdalen er et område på 40 x 60 km hvor man finner Adventdalen og områder omkring. En digital høydemodell med 100 m oppløsning fra Norsk Polarinstitut danner datagrunnlaget, se figur 1.2. Metoden vil i tillegg bli testet på et område i Jotunheimen. Der vil det ligge til grunn en digital høydemodell med oppløsning 25 m, se figur 1.3. Testområdet Jotunheimen er et utsnitt fra en digital høydemodell med 25 m oppløsning som dekker Sør-Norge. Modellen fra Statens Kartverk er konvertert til Arc/Info grid format med Surfer 7.0. Innenfor testområdet Adventdalen er det valgt ut et område fra Coloradofjella med typiske V-formede daler, og det vil fungere som treningsområde for algoritmen. Oppløsningen er som for testområdet Adventdalen 100 m, se figur 1.2 og 1.4. Treningsområdet Coloradofjella er med for å utvikle og illustrere algoritmen. Algoritmen er en delløsning av problemstillingen, og søker å inneholde en metode for å trekke ut profiler fra en digital høydemodell.

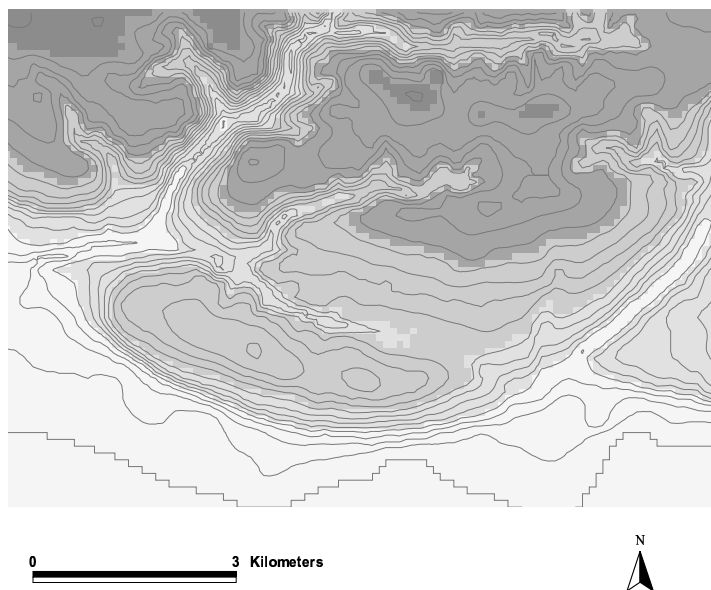


Figur 1.3: Testområdet Jotunheimen. Skyggemodell fra et område i Jotunheimen beregnet fra en digital høydemodell. Oppløsning 25 m.

## Grunnlagsdata

Metoden vil være basert på data fra digitale terrengmodeller, der pikselverdiene representerer høyde, og modellene dermed er digitale høydemodeller (Florinsky 1998). Det er et poeng at en slike digitale modeller er eneste datakilde, da det gir mulighet for automatisk prosessering (Tribe 1991). Mange digitale terrengmodeller er nå tilgjengelige på grunn av den teknologiske utviklingen de senere år. Utviklingen har blant annet ført med seg raskere prosessorer, større lagringskapasitet og minne. Problemstillingen er å identifisere landformen V-dal fra digitale høydemodeller.

Når man tar i bruk ekstraksjonsteknikker på digitale terrengmodeller er det to faktorer som styrer hvor godt resultatet blir (Guonian, Yadong og Zhongming 1998). Den første er hvor tilstrekkelig den topografiske strukturen blir definert morfologisk (kap. 2.2, 2.3). Den andre faktoren er hvordan man designer algoritmen for den definerte topografiske strukturen (kap. 3.1.2). Forskjellige definisjoner av morfostrukturen vil føre til forskjellig algoritme design og forskjellig analytiske resultater (Guonian et al. 1998).



**Figur 1.4: Treningsområdet Coloradofjella.** Utsnitt over Coloradofjella, fra figur 1.2, Adventdalen. Oppløsning 100 m. Konturintervall 30 m generert fra digital høydemodell. I dette området finnes det daler med typisk V-dal form.



# Kapittel 2

## Teori

### 2.1 Geomorfometri

Terrenganalyse er studiet av elementer knyttet til geometrisk form, materiale, den morfologiske historien og topologien av landformer (Schmidt og Dikau 1999). Landformer er et sentralt studieområde innenfor geomorfologi. Som en subdisiplin, tar geomorfometrien for seg kvalitativ og kvantitativ beskrivelse og målinger av landformer (Dehn, Gartner og Dikau 2001). En regner med at landformer ikke er fullstendig kaotisk oppbygd, men er heller strukturerte på grunn av den geologiske historie og geomorfologiske prosesser som har produsert den nåværende synlige landform (Dehn et al. 2001). Dette taler for en sammenheng mellom kvantitativ beskrivelse og prosesser. Numerisk analyse av landformer og deres komponenter er ikke bare et forskningsobjekt i seg selv, men også bakgrunn for en bedre forståelse av et prosess-respons system i geomorfologi (Chorley et al. 1984 ref. i Schmidt 1999).

Geomorfometri har blitt definert som numerisk representasjon av topografien (Pike 1995), kvantitativ beskrivelse av terrenget (Evans 1972), forsøket på å beskrive kvantitativt formen på landoverflaten (Mark 1975), kvantitativ undersøkelse av topografien (Pike 2000) og som numerisk beskrivelse av topografiske former (Schmidt og Dikau 1999). Pike (1995, 2000) beskriver en rekke anvendelser av geomorfometri og tar for seg begrunnelse, fremskritt og hva fremtiden kan bringe. Geomorfometriens raske vekst kan ses parallelt til en vekst i datamaskinteknologi, hovedsakelig GIS (geografiske informasjonssystemer), masseproduserte digitale høydedata og også i det siste internet (Pike 2000).

Terrenget kan bli kvantifisert ut fra flere perspektiver (Pike 1995). Det skilles mellom spesiell og generell geomorfometri. Spesiell geomorfometri behandler geometrien til diskrete spesifikke typer av landformer, mens generell geomorfometri beskriver og analyserer kontinuerlig topografi (Evans 1972). Målinger brukt i

geomorfometri er ofte avhengig av høyden og dens deriverte som helning, aspekt og kurvatur (Evans 1972, Mark 1975, Pike 1988). Spesiell geomorfometri er nyttig når den gjenspeiler lokale geomorfologiske prosesser (Evans 1987, Richards 1990 ref. i Pike 1995). Evans (1987) gir eksempler på spesiell geomorfometri. I denne oppgaven ses det på skråningsprofiler, en diskrete terrengform som skal skilles fra tilgrensende former ved å bruke klare kriterier.

Formen på landskapet er et tegn på dens funksjon, og landskapsmønstre er et resultat av komplekse og gjensidig påvirkende prosesser som fungerer over et spekter av forskjellig romlige og temporale skalaer. Prosesser som former landskapet fungerer bare innenfor visse intervaller av skala og effekten varierer med skalaen (Walsh, Butler og Malanson 1998). Det er en stor variasjon av geomorfometriske fenomen i mange forskjellige skalaer, fra erosjonsriller (mikro topografi) til megaformer av hele kontinenter (Dikau 1994 ref. i Schmidt 1999). Gjengivelse og klassifikasjon av dette omfanget av former er et vesentlig bidrag til geomorfologien (Schmidt og Dikau 1999). Det er sannsynlig at forskjellig skala er hensiktsmessig for å undersøke forskjellige prosesser (Moore et al. 1993).

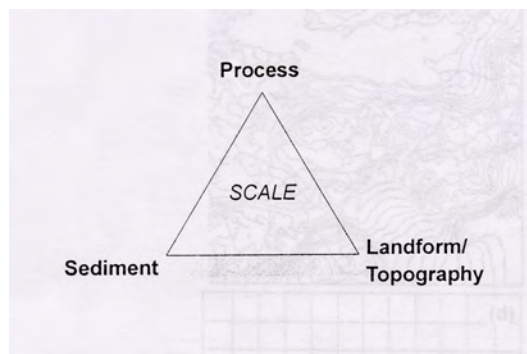
Geomorfometriske prosesser er produktet av komplekse interaksjoner mellom agenter fra geologi, klima, hydrologi, topografi, jordsmonn og organismer (McDermid 1995). De romlige fordelte effektene av prosessene på topografien vil også forandre landskapet. Topografi er altså ikke bare en konsekvens av tidligere prosesser, men også en faktor som virker inn på dagens erosjon, og derfor fremtidig morfologi (Etzelmuller og Sulebak 2000).

Topografiske attributter, eller terrengparametre blir beregnet fra en digital høydemodell. Digitale høydemodeller spiller en viktig rolle for modellering, analyse og visualisering av geomorfologiske problem, da prosesser som former jordens overflate i høy grad er styrt av gravitasjon og dermed topografi. Det er derfor nære relasjoner mellom bestemte topografiske karakteristikk, prosess responser, materiale og deres fordeling i rommet (Dikau 1989, Etzelmuller og Sulebak 2000, Pike 1995, Pike 2000), se figur 2.1.

### 2.1.1 Digital terrengmodell

I de fleste tilfeller er topografien representert i datamaskinen ved en regulær kvadratisk gridmodell eller en array av høydeverdier, som analysen blir utført på. Denne representasjonen er statisk og skala-avhengig da størrelsen på cellene som bygger opp terrengmodellen ikke kan forandres (Etzelmuller og Sulebak 2000). Disse kvadratiske cellene er kjent som pikslar.

Verdien i en celle representerer høydeverdien av den tilsvarende posisjonen på jordens overflate. I all vesentlighet er et regulært grid en array av regulære innsamlede høyder på jordens overflate (Qian et al. 2000). En digital høydemodell inneholder bare diskrete høydeverdier snarere enn topografiske former. Disse



Figur 2.1: Trekantrelasjon. Relasjonen mellom landform/topografi, landformdannende prosesser og overflatemateriale. Relasjonen er avhengig av skala i tid og rom (Etzelmuller og Sulebak 2000).

høydeverdiene har ingen definert fysisk mening som man vanligvis forbinder med topografiske former (Qian et al. 2000). Grid-celle representasjonen av rommet er kjent som raster-data modellen (Burrough og McDonnel 1998). En raster-data modell kalles fra her av grid.

Digitale terrengmodeller (DTM) kan bli definert som digitale representasjoner av variable relatert til en topografisk overflate, nemlig; digitale høydemodeller, digitale modeller av helning, aspekt, plan- og profilkurvatur så vel som andre topografiske attributter (Florinsky 1998). De fleste av teknikkene for automatisk landformgjenkjennelse er utviklet for regulære grid DTM datastrukturer. Dette fordi grid DTM er enkle å lagre,  $x$ - og  $y$ -lokaliseringen til hvert høydepunkt er gitt i matrisestrukturen til terrengmodellen, og fordi den samme matrisestrukturen tillater relativt enkle algoritmer for DTM manipulasjon (Douglas 1986 ref. i Tribe 1991). Grid gir de beste muligheter for å modellere enhver type av overflate, og for å undersøke romlige interaksjoner av fenomen, enten de ligger tett ved, eller en distanse fra kjernecellen (DeMers 2002). Matematisk modellering er relativt enkelt å gjennomføre med en grid datastruktur ved å kombinere attributt data fra forskjellige lag (eng. layer) for den samme cella, eller nabo grid celler (Burrough og McDonnel 1998). Terrengparametre beregnet fra digitale høydemodeller er beskrevet i neste kapittel. Disse parametrene vil få samme regulære datastruktur. Matematisk modellering er enkelt fordi alle romlige enheter har en enkel, regulær form (Burrough og McDonnel 1998).

Oppløsningen eller skalaen til grid dataene er forholdet mellom pikselstørrelsen og størrelsen til cellen på bakken (Burrough og McDonnel 1998). Dikau (1989) påpeker at en DTM må ha en egnet størrelse på grid rutenettet for undersøkelsen. Ved bruk av grid terrengmodeller til å gjenkjenne former, må det ses relativt til oppløsningen. Det er ikke noe poeng å lete etter en 10 meter landform

i et grid med 50 meter oppløsning (Tribe 1991). Men det er ikke nødvendigvis riktig at en DTM med finere oppløsning vil nødvendigvis gi økt romlig nøyaktighet. En DTM med finere dataoppløsning er også mer sensitiv for andre former for feil som kryper inn i dataene under bearbeiding (DeMers 2002). I dag er digitale terrengmodeller lett tilgjengelige i et bredt spekter av oppløsninger, som åpner for muligheter for romlig modellering av landform utbredelse og prosess responser (Etzelmuller og Sulebak 2000).

### 2.1.2 Terrengparametre

Terrengparametre, eller topografiske attributter, kan deles i primære og sekundære attributter. Primære attributter er direkte beregnet fra en digital høydemodell og inneholder variable som høyde, helning, aspekt, plan og profil kurvatur. Sekundære attributter involverer kombinasjoner av de primære attributtene (Moore et al. 1993). Geomorfometriske parametre er landformparametre som kan være forskjellig for hvert punkt på landoverflaten. Disse er dermed attributter til et geomorfometrisk punkt (Schmidt og Dikau 1999).

Da grid overflaten er ment å være matematisk kontinuerlig, er det i prinsippet mulig å beregne matematiske derivater et hvert sted. I praksis, fordi overflaten har blitt diskretisert, blir disse derivativene tilnærmet enten ved å beregne forskjeller innenfor et kvadratisk filter, eller ved å tilpasse en polynomoverflate til dataene innenfor filteret. Parametre beregnes altså fra et grid som representerer en kontinuerlig overflate (Burrough og McDonnel 1998). Denne oppgaven bruker de primære parametrene helning og profilkurvatur, og den sekundære parameteren drenering (eng. flowaccumulation).

Nøyaktigheten av terrengparameterberegninger er hovedsakelig avhengig av (Florinsky 1998):

- Nøyaktigheten av input data, det vil si nøyaktigheten av digitale høydemodeller
- Presisjonen til en beregningsteknikk

Kvaliteten av høydemodellen vil påvirke nøyaktigheten til terrengparametrene. Feil i terrengparametrene vil for eksempel øke med økende støy i høydemodellen (Florinsky 1998). Det finnes flere metoder for å beregne relieffparametre basert på raster datastruktur (Moore et al. 1993, Sharpnack og Akin 1969, Ritter 1987, Zevenbergen og Thorne 1987). Jones (1998) tester og sammenligner åtte forskjellige algoritmer for å beregne helningsverdier fra grid DTM med forskjellig oppløsning. Den største forskjellen mellom algoritmene ligger i antall grid celle-verdier som blir brukt, og vektningen disse blir gitt. De mest brukte algoritmene bruker mellom fire og ni av høydeverdiene i et tre ganger tre vindu, eller

en kjerne sentrert om høydeverdien hvor det skal beregnes et estimat av helning (Jones 1998). Ved å beregne et estimat for feilen til algoritmene i hvert punkt, viste det seg at metodene varierte. Generelt (Jones 1998) gir metoder med fire eller fler nabopunkter bedre resultater enn de som bruker en eller to nabopunkter sammen med kjernepunktet.

Landoverflate topografi har en vesentlig innvirkning på prosesser som avrenning og erosjon. Helning, det mest brukte topografiske mål, influerer strømningsgrad av vann og sedimenter ved å kontrollere graden av energiforbruk eller tilgjengelig strømkraft (Zevenbergen og Thorne 1987). Helningsvinkelen kontrollerer gravitasjonskraften tilgjengelig for geomorfometrisk arbeide (Evans 1972). Matematisk er tangenten til helningsvinkelen den første deriverte av høyden. Den er definert for hvert punkt i terrengmodellen og blir vanligvis oppgitt i prosent helning (Mark 1975). Helningsverdien til hvert piksel er vinkelen til pikselets plan relativt til det horisontale plan (Ritter 1987). Ved beregning av helning (ESRI 2001) vil ouput griddet vise graden av maksimum endring i  $z$  verdi fra hver celle. Konseptuelt, vil helningsfunksjonen tilpasses et plan til  $z$ -verdiene i et  $3 \times 3$  cellenaboskap rundt kjernepikselet. Helningen for cellen blir beregnet fra  $3 \times 3$  naboskapet ved å bruke "average maximum" teknikken. Formel 2.1 viser uttrykket for beregning av helningen  $S$ , der  $z$  er høyde og  $x$  og  $y$  er koordinataksler.

$$\tan S = \sqrt{\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2} \quad (2.1)$$

Deltaene er beregnet ved å benytte et  $3 \times 3$  flytende vindu som beveger seg rundt i terrengmodellen. Helning påvirker den totale grad av bevegelse nedover en helning (ESRI 2001).

Profil kurvatur er et mål på grad av forandring for den potensielle gradienten og er derfor viktig for vannstrømning (karakteriserer forandring i stømningshashtighet) og sedimenttransport prosesser (Moore et al. 1993). Den er definert som grad av endring av helning, eller den annen deriverte til høyden (Evans 1972). Konvekse kurvaturer har en positiv verdi, mens konkave kurvaturer har negative verdier (Pike 1988). Ved beregning av profilkurvatur (ESRI 2001), vil ouput griddet vise grad av endring av helning for hvert piksel (celle). Dette er kurvaturen til overflaten i helningsretningen. Kurvaturen til en overflate blir beregnet celle for celle. For hver celle, blir et fjerde ordens polynomial av formen  $Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$  tilpasset en overflate bestående av et  $3 \times 3$  vindu. Koeffisientene  $A, B, C$  og så videre, blir beregnet fra denne overflaten, hvor profilkurvaturen da blir  $-2(DG^2 + EH^2 + FGH)/(G^2 + H^2)$  (Zevenbergen og Thorne 1987, ESRI 2001). Konveksitet blir målt i grader per enhet distanse. Profilkurvaturen påvirker aksellerasjon og retardasjon av strømning, og har derfor innvirkning på erosjon og avsetning (ESRI 2001).

Et grid som viser akkumulert strømming til hvert piksel vil heretter bli kalt for drenering (eng. flowaccumulation). Dreneringsgriddet produseres ved å akkumulere vekten av alle celler som drenerer til hver laveliggende celle. Det krever et grid med strømningsretning ut av hver celle som input, der alle søkk (eng. sink) først er fjernet fra høydemodellen. Griddet drenering viser antall celler som drenerer til hver celle. Output celler med en høy strømningsakkumulasjon er områder med konsentrert drenering og vil kunne bli brukt til å identifisere strømningskanaler, for eksempel bekker og elver (ESRI 2001).

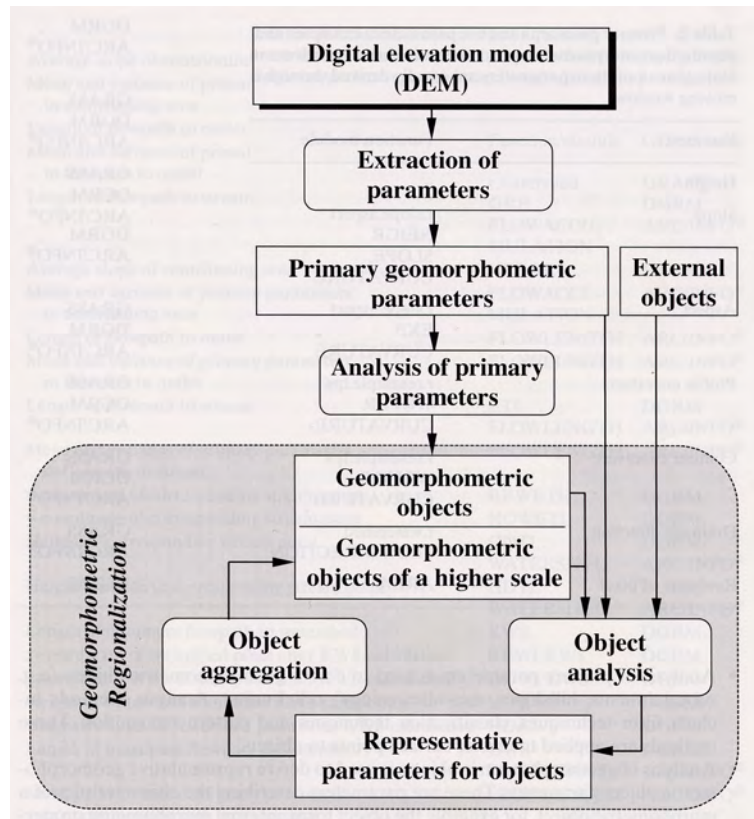
Gitt høydeverdien for alle celler i terrengmodellen produserer terrengparameter-algortimene en parameterverdi til hvert piksel (Ritter 1987).

### 2.1.3 Geomorfometriske objekter

Numerisk analyse av landformer med digitale metoder bør være basert på en teoretisk plattform. Det er den underliggende teorien av geomorfometriske fenomen som gjør oss istand til å definere geomorfometriske former, objekter, parametre og også å beregne og beskrive dem kvantitativt (Schmidt 1999).

Et geomorfometrisk objekt er en klart definert landformenhet, for eksempel en strømningskanal eller et nedbørsfelt. De kan videre deles opp i to hovedklasser; lineære og areale objekter (Schmidt 1999). Schmidt (1999) presenterer en konseptuell modell for klassifikasjon av geomorfometriske attributter og objekter basert på et hierarkisk rammeverk. Klassifikasjonen anvendes som et system av GIS-metoder til ekstraksjon av geomorfometriske parametre og objekter. Areal og lineære elementer på jordoverflaten kan bli definert som geomorfometriske objekter. De inneholder en viss mengde geomorfometriske punkter (f.eks. xyz-komponenter). Geomorfometriske objekter kan bli utledet ved 1) clustering av overflate punkter eller 2) ved å kombinere predefinerte områder eller linjer. Clustering prosessen krever geomorfologisk kunnskap på en slik måte at objekter har en maksimal intern homogenitet og/eller en viss geomorfometrisk struktur. Et eksempel er skråningsprofiler som er bygd opp av helningssegmenter i en viss topologisk rekkefølge. Geomorfometriske punkter og objekter inneholder, og kan bli beskrevet kvantitativt med geomorfometriske parametre eller med geomorfometriske attributter. Jamfør kapittel 2.1.2.

Geomorfometriske parametre og attributter blir brukt til å generere geomorfometriske komponenter på et høyere nivå. Dette tilsvarer et romlig og forgrenet hierarki hvor lavere ordens objekter kan bli brukt til å derive høyere ordens objekter ved å bruke de geomorfometriske attributtene. Figur 2.2 gir en oversikt over modellen.



Figur 2.2: Geomorfometriske objekter. Systemet av metoder for å ekstrahere geomorfometriske parametre og objekter. Systemet er basert på ekstraksjon av primære geomorfometriske parametre. I neste steg blir disse parametrene analysert for å utlede geomorfometriske objekter. Disse objektene danner basis for et hierarkisk system som inneholder objektanalyse og objektaggregering, og leder til representative geomorfometriske parametre og geomorfometriske objekter på et høyere nivå (Schmidt 1999).

### 2.1.4 Klassifikasjon

Klassifikasjon er i følge Burrough og McDonnel (1998) "the process of assigning items to a group or set according to their attributes." Etter klassifikasjon blir det antatt at variasjonen innenfor en gruppe er mindre enn den mellom gruppene (Burrough og McDonnel 1998). I denne oppgaven vil skråningsprofilobjekter, kap. 2.1.3 og kap. 2.3, bli klassifisert. Det er, som nevnt i sitatet fra Burrough og McDonnel (1998), attributtene (variablene) til objektet som bestemmer klassifiseringen.

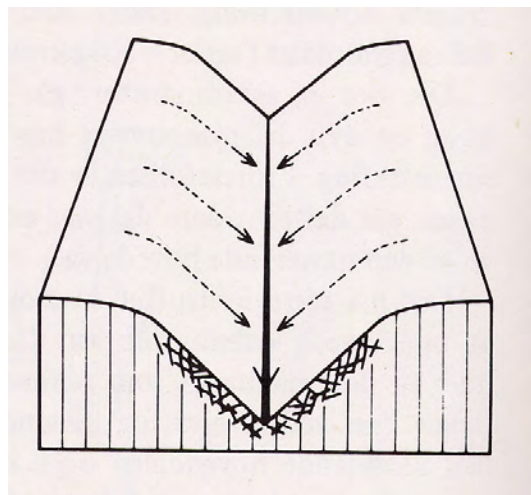
I en klassifikasjon vil det åpenbart være "prototype" objekter som er de "beste eksemplene" fra en bestemt kategori. Vanligvis vil objekter som er atypiske eller veldig forskjellig fra prototypen være vanskeligere å klassifisere enn dem som ligner kategori prototypen (Jolicoeur et al. 1984 ref. i Graff og Userly 1993). Dette er spesielt viktig når man behandler terrengformer, som ofte kan være svært forskjellige fra tekstbokeksemplene og fra hverandre (Graff og Userly 1993).

## 2.2 Geomorfologi

Ordet landform brukes om alle former på landoverflaten, store og små, former i den faste berggrunnen så vel som i løsmateriale. Geomorfologi er vitenskapen som arbeider med landformene og de prosessene som virker til å danne landformer (Gjessing 1990). Landformer er et resultat av samspill mellom fysiske, kjemiske og biologiske prosesser som virker på overflaten (Dehn et al. 2001). Landformer har blant annet to viktige egenskaper (Dehn et al. 2001): De er (i) et resultat av tidligere geologiske og geomorfologiske prosesser og (ii) de fungerer som grenser for nåværende prosesser. Å skille ut de enkelte formene kan by på problemer, fordi hver enkelt landform eller hvert "landform-individ" ikke alltid er klart avgrenset fra omgivelsene, og ikke alltid typisk utformet (Gjessing 1990).

Det er et mål i denne oppgaven å skille V-daler, elveeroderte daler, fra andre landformer, og da spesielt fra iseroderte daler. Metodene som benyttes gjør bruk av tverrprofiler av daler, og det er dermed viktig å kjenne formen til en V-dal. V-formet dal er formet som følge av elveerosjon. Elvene frakter med seg steinmateriale som de får fra dalsidene. Dette steinmaterialet sliter på bunnen av elveleiet. Sammen med forvitring i elvebunnen gjør dette at dalbunnen senkes. Når vi sier at en dal er dannet ved elveerosjon, omfatter dette både skråningsprosessene i dalsidene og prosessene i elveløpet, selv om erosjonen i snever mening bare er slitasje på elvebunnen, se figur 2.3. For at en elv skal kunne erodere, må den altså få tilført løst steinmateriale, og den må ha nok vann og stort nok fall til å kunne transportere det tilførte materialet. Ved likevekt er elveløpets fall, dalsidenes skråning og også elveløpets bredde, dybde ujevnheter og så videre, gjensidig til-





Figur 2.3: Daldannelse. Daldannelsen foregår ved samarbeid mellom prosessene i elveløpet og prosessene i dalsidene (Gjessing 1990).

passet (Gjessing 1990). Da de overnevnte prosesser kan forandre seg raskere enn landskapet kan reagere, vil en likevekts tilstand mest sannsynlig aldri oppnås i naturlige landskaper (Montgomery og Dietrich 1992).

Betegnelsen V-dal brukes når tverrprofilen i dalene som er gravd ut av elver, har form som en stor V. Dalbunnen er så bred at det akkurat er plass til elva, eller elva med en smal elveslette. Dalsidene kan være dekket av løst steinmateriale, men skråningen er så stor at dette raser eller sklir sakte ned i elva etter hvert som den graver seg ned i bunnen av dalen. Ved inntrådt likevekt i systemet kan elva, med de vannføringene den har i de større flommene, frakte vekk selv det mest grovkornete av det løse steinmaterialet som kommer fra dalsidene og løpet lenger oppe. En dal som bare er formet ved elveerosjon, har ikke terskler eller innsjøer. Slike daler er uten større trinn i lengdeprofilen hvis det ikke er spesielt motstandsdyktig berg i et stykke av løpet (Gjessing 1990). Figur 2.4 viser en V-dal. Overgangsfasen fra dalgrensen øverst og til bunnen av dalen er sterkt relatert til den underliggende litologien (bergarter), og helningsgraden vil dermed variere (Qian et al. 2000). Generelt er vinkelen til dalsidene lik rasvinkelen ned til elven eller dalbunnen, men kan være brattere avhengig av berggrunn. Elven, sammen med frostsprengning og massebevegelse, fører til utviklingen av de unge V-formede dalene i Norge (Klemsdal og Sjulsen 1988).

På Svalbard, hvor testområdet Adventdalen ligger, er det vanlig med V-formede daler. De fleste dalene har et jevnt lengdeprofil uten trau og terskler. Sidedalene møter som regel hoveddalen i høyde med dagens dalbunn, og hengende daler forekommer sjelden. Dette er klart forskjellig fra det meste av Fennoskandia (Sollid



Figur 2.4: V-dal. V-dal som skjæres ned i den paleiske overflaten. Dalbunnen er ikke bredere enn elveløpet. Skråningsprosessene leverer materiale til elva (Gjessing 1990). Foto: Just Gjessing.

og Sørbel 1988). Sollid og Sørbel (1988) viser til flere punkter som tilsier at landformer dannet ved forvitring og fluviale prosesser er dominerende på Svalbard, og at hovedutformingen umulig kan ha skjedd etter siste istid. Rudberg (1982) har sett på landformer og spesielt fluviale daler i den arktiske klimasonen. Omkring Adventdalen er tettheten av V-daler (delvis) høy og dalsidene kan møtes i kammer. Dalsidene har form som rette strekninger med en vinkel på ca 30. grader. Det virker også klart (Rudberg 1982) at fordelingen av fluviale daler er sterkt relatert til berggrunnen og strukturer i denne. Annen forskning viser at store landformer, som makro og meso landformer, imidlertid er mindre avhengig av berggrunn og mer avhengig av prosesser enn mindre landformer (Bonow et al., Rudberg 1984, Rudberg 1987 ref. i Klemsdal 1988).

I de iseroderte dalene finnes en rekke karakteristiske former som skiller dem fra de elveeroderte dalene. De har blant annet U-formet tverrprofil, regelmessige, parallelle dalsider og jevnbred dalbunn. De kalles derfor U-daler. Dalsidene er jevne og så bratte at løsmateriale ikke kan bli liggende på dem. Når en elv graver i en dal virker den langs en smal stripe i dalbunnen, mens andre prosesser virker i dalsidene. Når en isbre graver i en dal derimot, virker den langt oppover i dalsidene. Den fyller kanskje hele dalen. Dette gjør at formen på en breerodert dal blir en annen enn formen på en elveerodert dal (Gjessing 1990).

I kvartærtiden ble Nord-Europa gjentatte ganger dekket av en stor innlandsis. I områder hvor isbreer befant seg, har de glasiale prosessene i kvartærtiden forandret utformingen av landskapet utført av tidligere fluviale prosesser. Mellom

istidene og etter den siste istid har elvene virket. Dette medfører at det i Norge er meget sammensatte dalformer. Enkelte daler eller dalstrekninger kan være mest preget av iserosjon, andre av elveerosjon, men ofte er det vanskelig å avgjøre i detalj andelen av de to erosjonsprosessene (Gjessing 1990).

Geomorfologer er vant til å representere landformer med topografiske profiler (Blong 1975, Bonow et al. 2003, Chorowicz et al. 1995, Dikau 1989, Gjessing 1966, McDermid 1995, Qian et al. 2000, Rasemann og Schmidt 2001, Tribe 1992). Et eksempel er Chorowicz et al. (1995) som identifiserer landformer ved å se på spesifikke rekkefølger av enklere helnings mønstre. Chorowicz et al. (1995) ser på en organisering av former basert på analyse av slike rekkefølger langs profiler. Disse elementene kan bli kodet og syntaktiske regler etablert som resulterer i en strukturell syntaktisk analyse. I denne oppgaven blir profiler omhandlet i forbindelsen skråningsprofil (definert i neste kapittel).

## 2.3 Skråningsprofil

En grundig definisjon av topografisk struktur er en forutsetning for å implementere en algoritme. Definisjonen bør fange den fysiske meningen av formen på jordens overflate (Qian et al. 2000). Eksakte definisjoner og kvantifisering av geomorfometrisk struktur er imidlertid et problem innen geomorfometrien, og mulig bare i sjeldne tilfeller (Schmidt og Dikau 1999). I denne oppgaven er det for ekstraksjon av skråningsprofiler lagt til grunn definisjonene til McDermid (1995) og Dehn et al. (2001).

Skråning (eng. hillslope) er i følge McDermid (1995) den fundamentale landskapsenhet når det gjelder å studere geomorfometriske prosesser. Gravitasjon er den store pådrivende kraften bak disse prosessene, og er på et maksimum i retningen for størst helning. Skråninger er formet (Montgomery og Dietrich 1992) ved sedimenttransport prosesser, for eksempel solifluksjon, dråpeerosjon og biologisk aktivitet. Det vil være en overgang fra sedimenttransport på grunn av skråninger og til sedimenttransport på grunn av elveprosesser (Montgomery og Dietrich 1992).

Dehn et al. (2001) definerer skråning som en hellende landform, hvis utstrekning begrenses av minst to andre formenheter. En skråning er en overgang mellom en øvre og en nedre formenhet, figur 2.5. Helningen vil også ha en øvre og nedre størrelsesterskel. Dette for å unngå vertikale vegger og sletter. Ingen del av en skråning skal ha en høyde over den øvre grensen eller en høyde lavere enn den nedre grensen til den respektive enhet. For videre å begrense definisjonen er det satt et krav om minimum størrelse (areal utstrekning). Denne vil være avhengig av skalaen på undersøkelsen.

Skråninger kan også defineres som steder hvor visse prosesser finner sted. Det

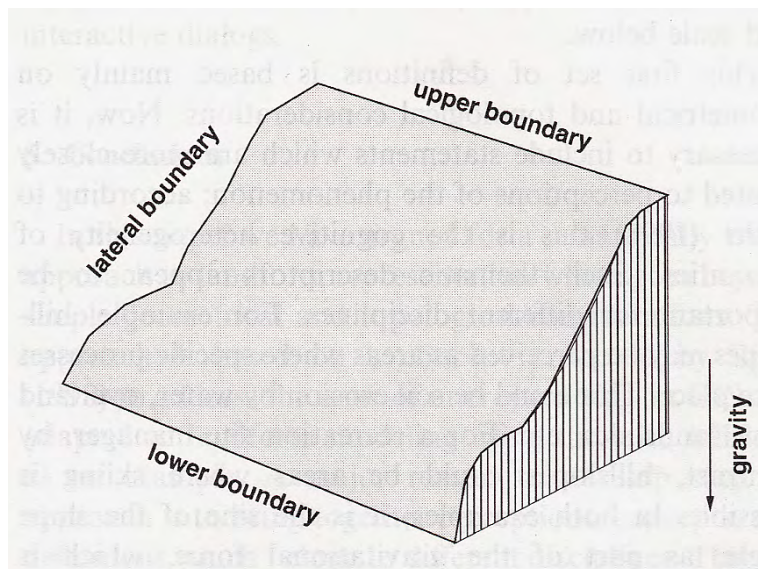
kan være jorderosjon på grunn av vann, overflateavrenning, jordskred og lignende (Dehn et al. 2001). I begge tilfeller er det størrelsen på helningen, som del av gravitasjonskreftene, som muliggjør aktiviteten som finner sted på en skråning. Dehn et al. (2001) generaliserer sin definisjon med å si at skråninger er steder hvor parameteren - masse  $x$  ganger gravitasjonskraft  $x \sin B$  - spiller en dominant rolle for prosessene.

McDermid (1995) definerer skråningsprofilen som den linja som binder sammen toppen av et vannskille og bunnen av en dal, og står normalt på alle konturlinjer. Et bilde på dette er veien en ball vil ta når den ruller ned en skråning. Langs denne linja vil også helningsprosesser operere, og skråningsprofilen vil dermed være basis for å studere forholdet mellom prosess og form (Finlayson ref. i McDermid 1995).

Nåværende og tidligere geomorfologiske og pedologiske (jordbunnsmessige) prosesser resulterer i en romlig ordening av materiale i henhold til morfometrien. Denne romlige ordeningen kalles for geomorfometrisk struktur (Schmidt, Merz og Dikau 1998). Geomorfometriske strukturer avhenger av romlig skala og av geomorfologiske grensebetingelser (klima, geologi osv.). Dehn et al. (2001) viser til et tankeeksperiment. Sett at vi har en 1 x 1 m terrengmodell med 1 mm oppløsning. Fra denne trekkes det ut en enhet på 6 x 8 cm som tilfredstiller skråningsdefinisjonen. De fleste folk vil ikke se på dette som en skråning, fordi typiske prosesser ikke opererer på centimeternivå. Når det opereres med forskjellig skala er det nødvendig med terskler som er romlig definerte. Ravine topografi er et eksempel på form som har en V-dalsform, men i en mindre skala enn V-daler (Klemsdal og Sjulsen 1988). En strukturell analyse involverer den romlige ordeningen til de primære geomorfometriske parametrene. Metoden leder til geomorfometriske objekter (Schmidt og Dikau 1999). Skråningsprofil er et slikt objekt.

## 2.4 Multivariat dataanalyse

Multivariat analyse er et sett med statistiske teknikker konstruert for å undersøke komplekse relasjoner mellom flere variable, spesielt der slike relasjoner kan være vanskelig å oppdage (DeMers 2002). Analysen kan på den måten avsløre strukturer og relasjoner i datamaterialet. Hvis gruppene som blir foreslått av en klassifikasjonsalgoritme gir fornuftige resultater, kan den bli brukt som basis for å klassifisere nye observasjoner. Strengt tatt (Anderberg 1973) vil allikevel et resultat kun gjelde for datamaterialet analysen er basert på. Multivariate metoder kan være (DeMers 2002) enkle deskriptive teknikker som histogram og andre metoder for datafremvisning, enkel deskriptiv statistikk, eller forutsigende- og slutnings-teknikker som regresjon, prinsipal komponent analyse, faktor analyse, cluster analyse og styrt klassifikasjon. DeMers (2002) gir eksempler på multiva-



Figur 2.5: Skråning. Øvre og nedre grense (eng. upper and lower boundary) og gravitasjon (eng. gravity) (Dehn et al. 2001).

riat analyse på geografiske objekter og viser hvor kraftig slike analyser kan være innenfor geografiske informasjonssystemer. Multivariat dataanalyse vil bli brukt til å klassifisere skråningsprofiler.

Anderberg (1973) deler i tre klassifiseringsnivåer. Klassifisering av nye elementer eller observasjoner til deres rette plass hvor kategoristrukturen er kjent, diskriminant analyse (styrt klassifikasjon) hvor bare en del av strukturen er kjent og manglende informasjon blir beregnet fra kjente elementer. Målsettingen i begge disse tilfellene er å klassifisere nye observasjoner, det vil si gjenkjenne dem som medlemmer av en kategori eller en annen. Det tredje nivået er cluster analyse (ikke-styrt klassifikasjon) hvor lite eller ingenting er kjent når det gjelder kategoristrukturen. Alt som er tilgjengelig er en samling med observasjoner hvis kategori medlemskap er ukjent. Målsettingen i dette tilfelle er å finne en kategoristruktur som passer til observasjonene. I denne oppgaven vil det bli sett på styrt og ikke styrt klassifikasjon, henholdsvis kapittel 2.4.1 og kapittel 2.4.2.

Det er vanlig prosedyre før man utfører en klassifikasjon å undersøke variablene. Ved å beregne korrelasjonskoeffisienter for variablene vil mulige sammenhenger dem imellom oppdages. Det beregnes et mål for hvilken grad to variabler er lineært relaterte (Manly 1986). Variabler som er gjensidig avhengige, øker ikke forklaringsverdien, og dermed kan den ene variabelen fjernes. For to variabler  $x$  og  $y$  vil korrelasjonskoeffisienten beregnes som i formel 2.2, hvor  $\bar{x}$  og  $s_x$  er gjennomsnitt og standardavvik for den første variabelen og  $\bar{y}$  og  $s_y$  er gjennomsnitt og

standardavvik for den andre variabelen (Minitab 2000).

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1)s_x s_y} \quad (2.2)$$

Vanlige tilnæringsmåter til klassifikasjon (Weibel og DeLotto 1988) er å bruke teknikker for bildeklassifikasjon fra fjernanalysen; styrt klassifikasjon (diskriminant analyse) og ikke-styrt klassifikasjon (cluster analyse). Disse har vokst fram fra konvensjonelle klassifikasjonsmetoder fra multivariat statistikk. Diskriminant analyse bruker a priori kunnskap for å velge diskriminant funksjoner som kan separere individuelle klasser i et multidimensjonalt variabel rom. Tilnæringsmåten krever at formålet til klassifikasjonen og klasseegenskapene er kjente. Cluster analyse krever liten eller ingen eksisterende kunnskap om antall og naturen til klassene i studieområdet. Metoden er dermed mye brukt til å få et førsteinntrykk av den regionale inndelingen. Imidlertid, siden denne inndelingen ikke er basert på kunnskap om klassene, må betydningen av resultatklassene (terreng typene) tolkes. Nyttigheten av denne metoden for terrengklassifikasjon er dermed begrenset (Weibel og DeLotto 1988).

Hvis grupperingen foreslått av klassifikasjons algoritmen viser seg å være funksjonell, kan den danne basis for klassifisering av nye observasjoner (Anderberg 1973).

### 2.4.1 Styrt klassifikasjon

Diskriminantanalyse (eng. discriminant analysis) er en multivariat statistisk metode brukt til å finne prosedyrer hvor data enheter kan bli klassifisert som medlem av en gruppe eller en annen (Anderberg 1973). Informasjon av steder (her: profiler) der den geomorfologiske klassen allerede er kjent blir kombinert som diskriminantfunksjoner; lineære kombinasjoner av inputvariable som produserer maksimumsforskjeller mellom klasser (McDermid og Franklin 1995). Problemet man tar tak i ved en slik analyse er hvor godt man kan skille to eller flere grupper med individer, gitt variabelverdier for noen individer (Manly 1986). Det brukes altså diskriminant analyse for å klassifisere observasjoner til to eller flere grupper, gitt noen observasjoner hvor gruppetilhørigheten er kjent.

En observasjon blir klassifisert til en gruppe hvis den kvadratiske avstanden (også kalt Mahalanobis avstanden) fra observasjon til gruppe senteret (eng. mean) er minst i forhold til andre gruppeavstander. Det er en unik del av den kvadratiske avstandsformelen for hver gruppe, og denne blir kalt den lineære diskriminantfunksjonen for den gruppen. For hver observasjon, vil gruppen med den minste kvadratiske avstand har den største lineære diskriminantfunksjonen, og observasjonen blir dermed klassifisert til denne gruppen. Hvis Mahalanobisavstand anses

som en rimelig måte å måle avstand fra en observasjon til en gruppe, er det ingen forutsetning å redegjøre for datafordelingen (Minitab 2000).

Dataene til en diskriminantanalyse trenger ikke være standardiserte til å ha et gjennomsnitt på null og samme varians før analysen, som er vanlig ved prinsipal komponent analyse eller faktoranalyse. Dette er fordi utfallet av en diskriminantfunksjons analyse ikke blir alvorlig berørt ved skalering av individuelle variabler (Manly 1986).

Gjennomsnitts vektorene av  $m$  variabler kan bli sett på som estimater av de sanne gjennomsnitts vektorene for gruppene. Den Mahalanobiske avstanden av individer til gruppesentrene kan dermed bli beregnet og hvert individ kan bli plassert til den nærmeste gruppen. Dette kan, men trenger ikke å være gruppen individet egentlig kom fra (Manly 1986). Den kvadratiske avstanden (Mahalanobis avstanden) av observasjon  $x$  til senteret av gruppe  $i$  er gitt ved den generelle formen

$$d_i^2(x) = (x - m_i)^r S_p^{-1} (x - m_i) \quad (2.3)$$

hvor  $x$  er kolonnevektoren med lengde  $p$  og inneholder verdiene av predikater for observasjonen,  $m_i$  er kolonnevektoren med lengde  $p$  og inneholder gjennomsnitt av predikatene beregnet fra dataene i gruppe  $i$ , og  $S_p$  er den samla kovariansmatrisen (eng. the pooled covariance matrix). En observasjon  $x$  blir klassifisert til gruppe  $i$  hvis den kvadratiske avstanden av  $x$  til gruppe  $i$  er kortest. Dette utvides til

$$d_i^2(x) = -2[m_i^r S_p^{-1} x - 0.5 m_i^r S_p^{-1} m_i] + x^r S_p^{-1} x \quad (2.4)$$

hvor det innenfor hakeparentesene er en lineær funksjon av  $x$ , og blir kalt for den lineære diskriminant funksjonen for gruppe  $i$ . For en gitt  $x$  vil gruppen med den minste kvadratiske avstand ha den største lineære diskriminant funksjonen (Minitab 2000).

I hvilke grupper de kjente observasjonene (her: treningsprofiler) blir plassert er en indikasjon på hvor bra gruppene kan bli delt med tilgjengelige variabler (Manly 1986). Styrken til inputvariablene er reflektert i utfallet av den påfølgende klassifikasjonen ved å se på den faktiske geomorfologiske klassen til hvert teststed (her: treningsprofil) og sammenligne med hvor de blir plassert av diskriminantfunksjonene (McDermid og Franklin 1995). Utfallet blir gitt som prosent korrekt klassifisert (McDermid og Franklin 1995, Manly 1986).

Diskriminantfunksjonene kan bli brukt til å klassifisere det originale testdatasettet, et nytt sett med uavhengige testområder (McDermid og Franklin 1995) eller fremtidige observasjoner (Minitab 2000).



## 2.4.2 Ikke-styrt klassifikasjon

I en cluster analyse (eng. cluster analysis) er målsettingen å sortere observasjonene til grupper slik at graden av "natural association" er høy mellom medlemmer av samme gruppe og lav mellom medlemmer fra forskjellige grupper (Anderberg 1973).

Clustering av observasjoner brukes til å klassifisere observasjoner til grupper, når gruppene til å begynne med er ukjente. Prosedyren valgt her bruker en agglomerat hierarkisk metode som begynner med at alle observasjoner er separate, hver og en danner sin egen cluster. I det første steget blir de to observasjonene som ligger nærmest hverandre forent. I det neste steget vil enten en tredje observasjon slutte seg til de første to, eller to andre observasjoner slå lag med en annen cluster. Denne prosessen vil fortsette til alle cluster er sammenføyd til en gruppe. Imidlertid er denne ene cluster ikke brukbar i en klassifikasjon (Minitab 2000). Det må derfor velges antall grupper, og klassifisere de ellers spredte dataene til logiske grupper (DeMers 2002). I tillegg må det velges avstandsmål (eng. distance measures) og forbindelsesmetode (eng. linkage method). Det finnes flere alternativer hvorav en metode av hver er beskrevet nedenfor.

Data som skal brukes i en cluster analyse består vanligvis av verdier av  $p$  variabler  $x_1, x_2, \dots, x_p$  for  $n$  objekter. For hierarkiske klassifiseringsalgoritmer brukes disse variableverdiene til å produsere en array av avstander mellom individene (Manly 1986). Avstandsmålet er avstanden mellom observasjon  $i$  og  $j$ . Tallet i rad  $i$  og kolonne  $j$  av avstands matrisen  $D$  er avstanden mellom observasjon  $i$  og  $j$ . Den euklidske avstandsfunksjonen (Minitab 2000) er

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2.5)$$

hvor  $d(i, j)$  i rad  $i$  og kolonne  $j$  er avstanden mellom observasjonene  $i$  og  $j$ .  $x_{ij}$  er verdien til variabelen  $x_j$  for individet  $i$  og  $x_{kj}$  er verdien til samme variabel for individet  $j$ . I denne oppgaven benyttes metoden med kvadratisk euklidskavstand. Store avstander med euklidsk regnemåte vil dermed bli enda større med kvadratisk euklidsk regnemåte.

Ofte blir variabler standardisert på en eller annen måte før avstander blir beregnet, slik at alle  $p$  variabler er like viktige når disse avstandene bestemmes. Uheldigvis (Manly 1986) har standardisering den effekten at den minsker gruppeforskjellene. Hvis grupper er bra separert med  $x_i$  vil variansen til  $x_i$  bli stor, og det skal den. Det ville vanligvis vært det beste valget å gjøre om variansen til verdien 1 innenfor gruppene, men dette er opplagt ikke en god tanke da hele poenget med analysen er å separere grupper (Manly 1986).

Forbindelsesmetoden bestemmer hvordan avstanden mellom to grupper er definert (Minitab 2000). Ved hvert sammensluttende skritt blir de to nærmeste grup-



pene forent. I begynnelsen, når hver gruppe består av en observasjon, er avstanden mellom grupper lik avstanden mellom observasjonene. Senere, etter at flere observasjoner er slått sammen, trengs det en forbindelsesregel for å beregne gruppeavstander når det nå er flere observasjoner i en gruppe (Minitab 2000). I denne oppgaven er gjennomsnittlig forbindelse (eng. average linkage) benyttet. Hvis gjennomsnitt velges som forbindelses metoden, er det generelt anbefalt å velge et kvadratisk avstandsmål (Minitab 2000). Det er også gjort. I gjennomsnittlig forbindelse er avstanden mellom to grupper den gjennomsnittlige avstanden mellom en observasjon i den første gruppa, og en observasjon i den andre gruppa. Metoden bestemmer hvordan elementet  $d_{mj}$  av en ny rad,  $m$ , i avstandsmatrisen, er beregnet fra elementene  $d_{kj}$  og  $d_{lj}$ , fra radene  $k$  og  $l$  som da slettes. Avstandsmatrisen er (Minitab 2000)

$$d_{mj} = (N_k d_{kj} + N_l d_{lj}) / N_m \quad (2.6)$$

hvor  $d_{mj}$  er avstanden fra gruppe  $m$  til gruppe  $j$  og  $N_k$ ,  $N_l$  og  $N_m$  er antall observasjoner i gruppene  $k$ ,  $l$  og  $m$ . Når det gjelder gruppering, vil to grupper slå seg sammen hvis den gjennomsnittlige avstanden mellom dem er liten nok (Manly 1986).

Et betydelig praktisk problem med å utføre en cluster analyse er å sette en verdi for antall grupper hvor dataene kan klassifiseres. Hierakiske clustermetoder gir et sett med løsninger tilsvarende antall grupper, fra en gruppe (hele datasettet), og opp til antall observasjoner (hver gruppe har bare ett medlem) (Anderberg 1973).

Produktet av en cluster analyse er ikke bare et sett med grupper; det nyttigste utfallet er økt forståelse og forbedret organisering av kjente fakta, som tillater en mindre omfattende beskrivelse av emnet som studeres. Bruk av cluster analyse krever aktiv deltagelse fra analytikeren for å tolke resultatene og bedømme deres betydning (Anderberg 1973).



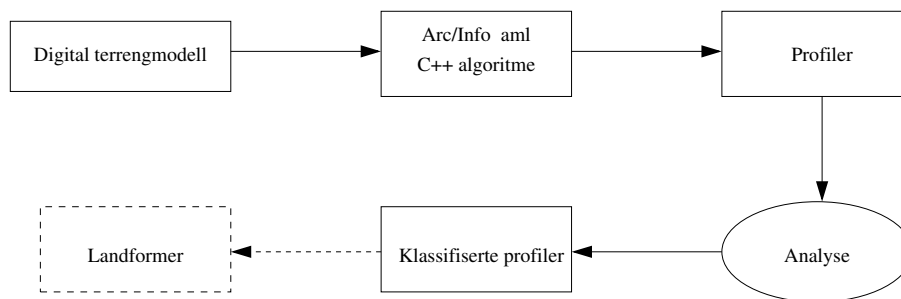
# Kapittel 3

## Metode

Strategien er som følger: (1) Trekke ut skråningsprofiler som tilfredstiller geomorfologiske og strukturelle krav fra en digital terrengmodell (DTM); (2) beregne deskriptive terrengparametre for hver profil; (3) identifisere de terrengparametrene som beskriver formen og er gjensidig utelukkende; (4) klassifisere profiler i en statistisk analyse med de valgte variablene (terrengparametrene); (5) sjekke klassifiseringsverdiresultatene opp mot en annen digital terrengmodell.

Treningsområdet Coloradofjella, innenfor testområdet Adventdalen er valgt fordi det inneholder daler med typisk V-form. Det vil allikevel knytte seg usikkerhet til metoden da man bruker reelle data og da det er stor variabilitet i landskapet. Under punkt to, beregne deskriptive variabler for hver profil, vil det i tillegg til terrengparametrene beskrevet i kap. 2.1.2, introduseres og defineres to nye parametre. Parametre vil i den statistiske analysen omtales som variabler.

Flytskjema for prosessen som gjennomføres i metodekapittelet er vist i figur 3.1. Automatikk av metoden fører til objektivitet i gjenkjennelsen av landformer, og dette tillater kvantitative sammenligninger og reproduisering av resultater (Tribe 1991).



Figur 3.1: Flytskjema metodeprosessen

## 3.1 Ekstraksjon av skråningsprofilobjekter

Treningsområdet blir brukt for å utvikle og illustrere algoritmen. Den digitale terrenngmodellen over Adventdalen og testområdet har en oppløsning på 100 m. I følge Evans (1972) er grid størrelser på 20, 50 eller 100 m egnet for å studere meso-relieff. Selve algoritmen, kap. 3.1.2, krever noen datasett som input. Disse beskrives i kap. 3.1.1, før-prosessering.

### 3.1.1 Før-prosessering

Terrengparametre, kapittel 2.1.2, blir beregnet i ArcInfo Version 8.1 og eksportert til ascii-filer som kan leses inn i algoritmen. I tillegg krever algoritmen selve høydemodellen som input. En ArcInfo aml (Arc Macro Language) beregner helning, profilkurvatur, drenering (eng. flowaccumulation) og klassifiserer videre disse i henhold til empiriske terskelverdier, se tillegg B.1.

Etter denne innledende prosesseringen er det produsert seks datasett som vil bli brukt som input til c++ algoritmen. Datasettene vil være kontinuerlige felt og er representert ved regulære kvadratiske grid, hvor hver attributt er representert av hvert sitt lag, og hvert piksel (gridcelle) tillates å få en forskjellig skalar verdi (Burrough og McDonnel 1998). Disse datasettene er høydemodellen, helning, profilkurvatur, gruppert klassifisert helning, klassifisert profilkurvatur og et dreneringssystem. Helning og profilkurvatur blir beregnet som beskrevet i kapittel 2.1.2. Griddet gruppert klassifisert helning består av piksler med en helningsverdi over en terskel (12 grader), der piksler som ligger ved siden av hverandre blir gruppert sammen og alle piksler i en gruppe får samme verdi. Klassifisert profilkurvatur er klassifisert etter en terskel (-0,3), der pikselverdier lavere enn terskelen bli med i griddet. Dreneringssystemet er basert på en klassifikasjon av et dreneringsgrid (eng. flowaccumulation). Dreneringsakkumulasjon i dens enkleste form er antall overeliggende celler som strømmer til hver celle. Ved å sette en terskelverdi til resultatene fra et slikt dreneringsgrid, kan et strømningsnettverk produseres (ESRI 2001). Det er satt en terskel på 50, der piksler med en verdi over dette blir klassifisert som medlem av dreneringssystemet.

Det er en vanlig egenskap ved kart beregnet fra høydematriser at bildene inneholder mer støy enn originaloverflaten. Ved å glatte en DTM med et lavpassfilter reduseres støy, men på bekostning av å fjerne ekstremverdier fra dataene (Burrough og McDonnel 1998). Høydedataene som blir brukt i algoritmen, kapittel 3.1.2, er glattet med et 3 ganger 3 Gaussfilter (gjennomsnitts filter). De blir samtidig konvertert til desimaltall hvis de ikke er det fra før. En slik glatting vil kunne fjerne noe støy, samtidig med at skarpe detaljer ikke fjernes (Graff og Usery 1993). Desimaltall trengs for å få en forskjell på pikselverdier der heltall ikke er nok til å skille høyden mellom to piksler i et grid.

### 3.1.2 Algoritme

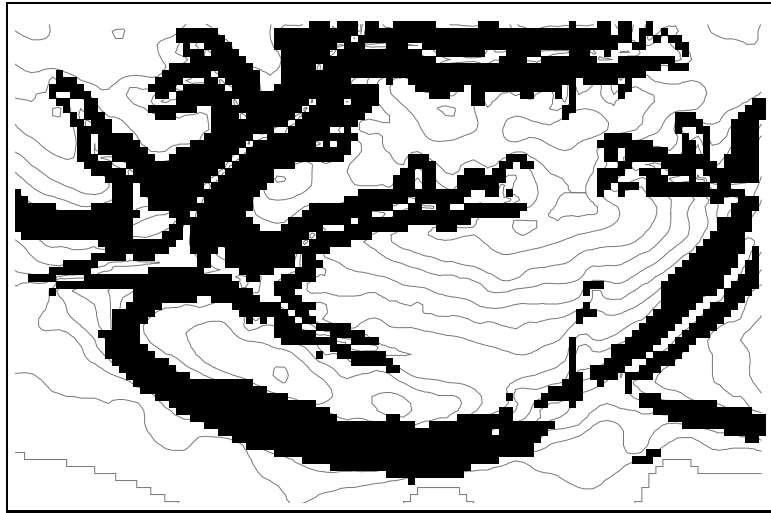
Algoritmen består av en samling funksjoner som benytter naboskapsteknikker. Unntaket er en funksjon som bygger selve profilen. Denne tar i bruk gjentakende romlige teknikker som best kan beskrives som "region-growing" prosedyrer. Rekkefølgen av funksjonene er satt, da en funksjon ofte produserer et grid til bruk i neste funksjon, eller foretar en prosedyre som den neste er avhengig av. Det opereres med et 3 x 3 flytende vindu. I dette ni punkts "vinduet" vil altså kjernepikelet  $(i, j)$  ha åtte naboceller.

Algorithms første funksjoner baserer seg på Bakker et al. (1996). De ser på muligheter for å trekke ut daler fra en digital høydemodell. Tre funksjoner i Arc/Info ble testet. "Watershed function", "flow accumulation" og "basin function" ble prøvd uten å gi brukbare resultater. Løsningen for Bakker et al. (1996) ble å lage sin egen algoritme i Arc/Info. Testområdet til Bakker et al. (1996), Mamaku Plateau i New Zealand, består av høye, flate platåer hvor daler har gravd seg ned. Tre punkter ble brukt som utgangspunkt:

- (i) Daler vil generelt være brattere enn platåoverflaten
- (ii) Daler vil generelt ha en lavere høydeverdi enn platåoverflaten
- (iii) Daler vil ha en minimum størrelse

Punkt nummer en ble delvis løst ved å velge en klassifiseringsgrense på 12 grader (Bakker et al. 1996, Bonow et al. 2003) for et helningsgrid produsert fra høydemodellen. Alle piksler med en høyere helningsgrad ble antatt å være del av et dalsystem, mens piksler med lavere helningsgrad enn denne terskelen ble antatt å tilhøre platåer. Bakker et al. (1996) utvidet videre algoritmen for å unngå små områder med høy helningsgrad tilhørende platåer og for å inkludere deler av dalsystemer med en slakere helning enn terskelen. Alle dalpiksler fra helningsklassifikasjonen ble gruppert sammen, og områder mindre enn 100.000 kvadratmeter (punkt nummer tre) ble antatt å være del av platået og ekskludert fra å være dalpiksler (Bakker et al. 1996). Punkt to ville ifølge Bakker et al. (1996) kunne løses ved å tilegne pikselceller med en lavere høydeverdi enn sine respektive dalpikselnaboer verdien dal. Arc/Info har imidlertid ikke fasiliteten til å lage et grid på den bakgrunn. Bakker et al. (1996) valgte en annen metode ved å inkludere flere Arc/Info funksjoner. Resultatet viste at en automatisk identifikasjon av dalsystemer i Mamaku platået ga tilfredstillende resultater (Bakker et al. 1996).

Et lignende resultat kan også forventes i Norge. Rudberg (1993) skriver blant annet at fluviale daler i Skandinavia er spesielt lange, og bredere enn i mange andre områder. Dalene er ofte omgitt av brede platåer eller et flatt eller bølgende relieff, den såkalte paleiske overflaten. Treningsområdet inneholder et lignende landskap.



Figur 3.2: Klassifisert helning. Piksler med en helningsgrad på 12 grader eller mer for treningsområdet.

I denne oppgaven er klassifisering av piksler med hensyn på helningsterskelen på 12 grader, og gruppering av disse, utført i Arc/Info omgivelsen. Piksler med en helning på 12 grader eller mer for treningsområdet er vist i figur 3.2. De neste punktene til Bakker et al. (1996) er inlemmet i programkoden og kan ses i figur 3.3, 3.4 og 3.5. Problemet med Arc/Info er løst med programkode, figur 3.5. Figur 3.6 viser resultatet etter en kjøring av funksjonene på treningsområdet.

Daler er nå skilt ut fra terrengmodellen som en egen klasse, figur 3.6. Det er rimelig å tro at et skråningsprofil vil befinne seg helt og holdent innenfor klassen dal. Neste skritt blir å finne startpunkter for profilene. Skråningsprofilet er definert, se kapittel 2.3, til å begynne på toppen av et vannskille. Her blir det "simulert" til å ligge langs grensen til klassen dal. Det er laget en funksjon som finner disse grensene, figur 3.7, og resultatgriddet kan ses i figur 3.8.

Startpunkter for profilbygging vil ligge på dalgrensene. Et hvert piksel som ligger på dalgrensen, vil være riktig som startpunkt. (Ved en mulig interaktiv versjon av dette programmet vil punkter kunne velges fritt på dalgrensen). Da algoritmen er automatisk, må punktene begrenses og ha en nogenlunde spredning. I sin analyse av dalgrenser har Qian et al. (2000), som ett av fire punkter, at de mest sannsynlig er lokalisert på en konkav helning. Beregning av kurvatur og klassifisering foregår i Arc/Info, se kapittel 3.1.1. Det klassifiserte griddet leses inn i programmet og brukes i en overlay med dalgrenser for å finne startpunkter, se figur 3.9. For å unngå stor tetthet, går en funksjon gjennom startpunktgriddet og sletter alle startpunkt-piksler som ligger ved siden av et annet startpunkt, også vist i figur 3.9. Figur 3.10 viser startpunktene for testområdet.

---

```
1  FOR EACH (i, j)
2    IF gruppe(i, j) > antall_grupper
3      antall_grupper = gruppe(i, j)
4
5
6  FOR t = 1 ... t = antall_grupper
7    antall = 0
8
9    FOR EACH (i, j)
10     IF gruppe(i, j) = t
11       antall = antall + 1
12
13   antall_i_gruppe(t) = antall
```

---

Figur 3.3: Antall grupper og antall i gruppa. Finne ut hvor mange grupper som er blitt gruppert i aml'en og telle hvor mange piksler det er i hver gruppe.

---

```
1  FOR t = 1 ... t = antall_grupper
2
3    FOR EACH (i, j)
4      IF gruppe(i, j) = t
5
6        IF antall_i_gruppe(t) * oppløsning
7          * oppløsning <= størrelsesterskel
8            gruppe(i, j) = 0
9        ELSE
10         gruppe(i, j) = 1
```

---

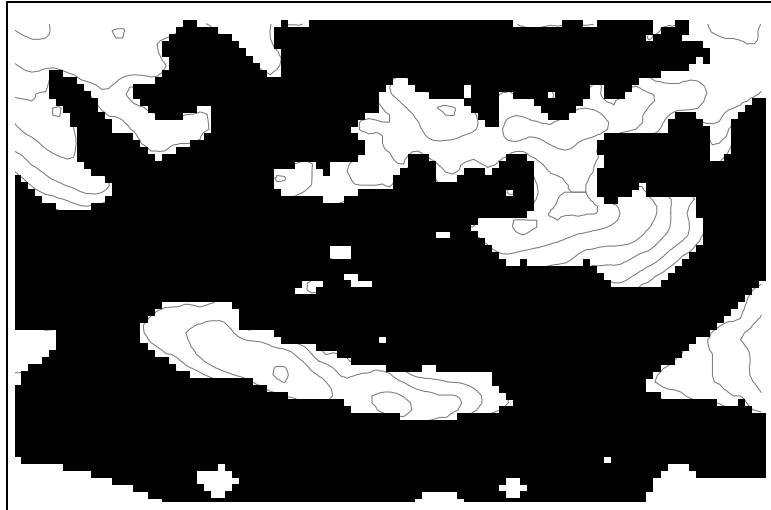
Figur 3.4: Størrelsesterskel. Fjerne små grupper ut fra en størrelsesterskel.

---

```
1  FOR EACH (i, j)
2    IF dem(i, j) = NODATA
3      gruppe(i, j) = NODATA
4
5  ELSE
6    IF dem(i, j) < dem for en eller fler av de
7      åtte nabomulighetene i et 3x3 vindu
8      AND gruppe(i, j) for tilsvarende piksel = 1
9      gruppe(i, j) = 1
```

---

Figur 3.5: Fylle igjen dalsider. Områder som er lavere og "ligger inntil" dalpiksler.



Figur 3.6: Daler. Små områder er tatt vekk og dalsider fylt igjen.

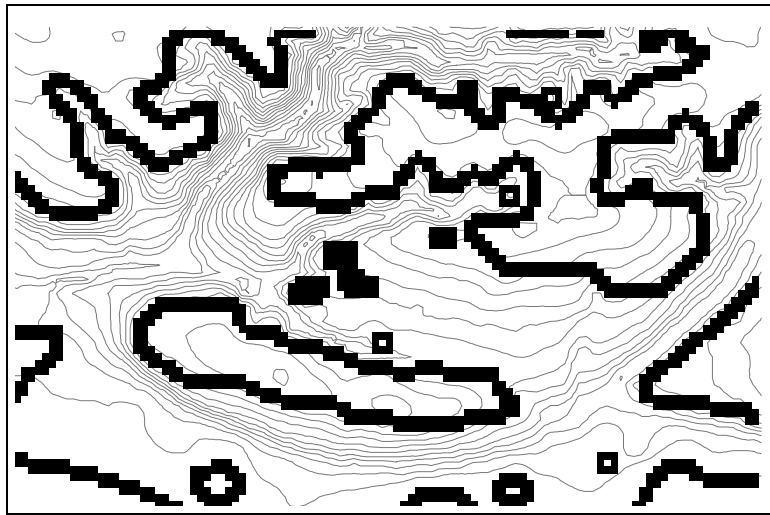
---

```
1  FOR EACH (i,j)
2    sum = summen av de åtte nabopikslene til
3      gruppe(i,j)
4
5    IF gruppe(i,j) = 1 AND sum > 2 AND sum < 8
6      border(i,j) = 1
7    ELSE
8      border(i,j) = 0
```

---

Figur 3.7: Finne omrisset til dalene





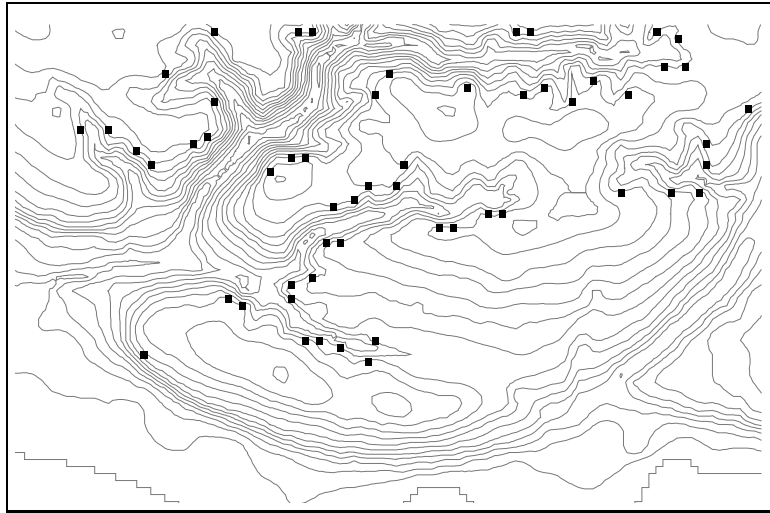
Figur 3.8: Omrisset til dalene

---

```
1  FOR EACH (i,j)
2    IF border(i,j) = 1 AND klassifisert_kurvatur = 1
3      seed(i,j) = 1
4    ELSE
5      seed(i,j) = 0
6
7  FOR EACH (i,j)
8    IF seed(i,j) = 1
9      alle de åtte nabopikslene til seed(i,j)
10     blir satt til null
```

---

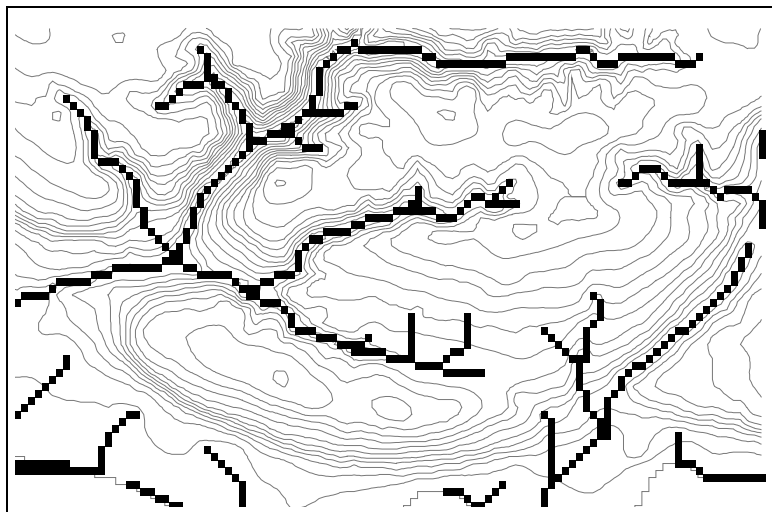
Figur 3.9: Finne startpunkter. Startpunkter (eng. seedpoint) finnes ved å ta en overlay av "omrisset til dalene" og klassifisert kurvatur. Tar også vekk nabo startpunkter for å unngå for stor tetthet.



Figur 3.10: Startpunkter

Profilbyggingen foregår ved at algoritmen går gjennom startpunktgriddet til den finner et startpunkt. Deretter bygges profilet i retningen med størst helning. Metoden for å finne retningen for størst helning, er analog med å finne retningen en ball vil rulle inn eller ut av et gitt punkt, ved å undersøke høydene til nabopikslene. Dette kan gjøres med et 3 x 3 flytende-vindu hvor kjernepikselet blir plassert over startpunktpikselet. Det pikselet som er lavere og lavest i forhold til kjernepikselet, blir "flagged" som et profilpiksel. Når en avgjørelse er tatt, blir kjernepikselet lagret som en del av profilet, og vinduet blir flyttet til pikselet som ble "flagged" (McDermid 1995). Operasjonen gjentar seg (region-growing) til et stoppkriterie inntil.

Det er flere stoppkriterier for profilbyggingen. Profilbyggingen stopper, og profilen blir ikke godkjent hvis den blir for lang, den kommer til kanten av terrengmodellen, den krysser en annen profil eller den kommer til flate områder. Algoritmen krever også et stoppkriterie for når profilbyggingen skal stoppe og profilen bli godkjent. Blong (1975) har i sin studie målt skråningsprofiler som en linje av koordinater. Han målte profiler fra helningskammen (eng. crest) til "det punktet i bunnen av profilen hvor prosesser i elveløpet erstatter prosesser i dal-siden." Dreneringssystemgriddet produsert i før-prosesseringen, består av celler med akkumulert drenering større enn en terskel. Dette systemet tilsvarer et elveløp og fungerer som en stoppkriterie for profilbyggingen, se figur 3.11. Hvis kjernepunktet i profilbyggingen kommer til en celle som er medlem av dreneringsgriddet, stopper profilbyggingen og profilen blir godkjent. Når en profil er ferdig bygd, eller profilbyggingen avbrytes, fortsetter algoritmen til neste celle i



Figur 3.11: Dreneringssystem

startpunktgriddet, figur 3.12.

Da metoden er basert på grid-data, kan man i følge Dehn et al. (2001) argumentere for at 1, 2 eller  $n$  gridceller ikke vil være stort nok til å bestemme en skråningsprofil. Antall celler vil være avhengig av størrelse og skala. På dette punktet er det ikke tatt hensyn til skala i algoritmen, det er imidlertid en enkel sak å implementere. Figur 3.13 viser hvordan profiler bestående av bare en eller to rasterceller fjernes. En gjennomkjøring av algoritmen vil generere godkjente profiler for treningsområdet, se figur 3.14.

Flytskjema for algoritmen er vist i figur 3.16. En godkjent skråningsprofil generert av algoritmen tilfredstiller øvre grensebetingelser (startpunkter), nedre grensebetingelser (godkjent stoppkriterie) og regler for profilbygging. For en oppsummering og visualisering av metoden er det laget en figur som viser et skråningsprofil over en V-dal, figur 3.15. Den viser hvordan man kan tenke seg et skråningsprofil i naturen.

## 3.2 Analyse

Algoritmen fra kapittel 3.1.2 genererer profiler som følger geomorfologiske og strukturelle krav. Fra disse profilene (lineære geomorfometriske objekter) beregnes det deskriptive variabler. Etter en analyse av variablene er målet å stå igjen med uavhengige variabler som beskriver formen godt nok til å kunne brukes i en klassifikasjon av skråningsprofiler. Bakgrunnen er muligheten for at noe av det som skiller klassene er definert av topografiske attributter, og dermed kan en

---

```

1  FOR EACH (p,q)
2    IF seed(p,q) = 1
3      more = true
4      index = index + 1
5      i = p, j = q
6      space = 1
7      elevationArray(index,space) = dem(i,j)
8      profilArray(i,j) = index
9      space = 2
10
11     While(more)
12
13       IF space > 30
14         more = false
15         elevationArray(index,99) = 0
16       ELSE
17         IF i eller j ligger i kanten av bildet
18           more = false
19           elevationArray(index,99) = 0
20         ELSE
21           IF flow(i,j) = 1
22             more = false
23             elevationArray(index,99) = 1
24           ELSE
25             IF noen av nabopikslene til
26               dem(i,j) ligger lavere enn dem(i,j)
27               temp_dem(nabopiksel) = dem(nabopiksel)
28             ELSE
29               temp_dem(nabopiksel) = en verdi som er
30                 høyere enn
31                 dem(i,j):(2468)
32
33     Denne seksjonen skal følge under samme nivå
34     som IF fra linje 25
35
36     For alle de åtte mulighetene av nabopiksler
37     IF temp_dem(nabopiksel) < 2468 AND temp_dem(nabopiksel)
38       er lavere enn de syv andre temp_dem pikslene
39       elevationArray(index,space) = dem(for samme piksel)
40
41     IF profilArray(for samme piksel) != 0
42       more = false
43       elevationArray(index,99) = 0
44     ELSE
45       profilArray(for samme piksel) = index
46       more = true
47
48     space = space +1
49     i = plasseringen til i i det pikselet som er brukt
50     j = plasseringen til j i det pikselet som er brukt
51   ELSE
52     more = false
53     elevationArray(index,99) = 0
54
55   elevationArray(index,0) = space -1

```

---

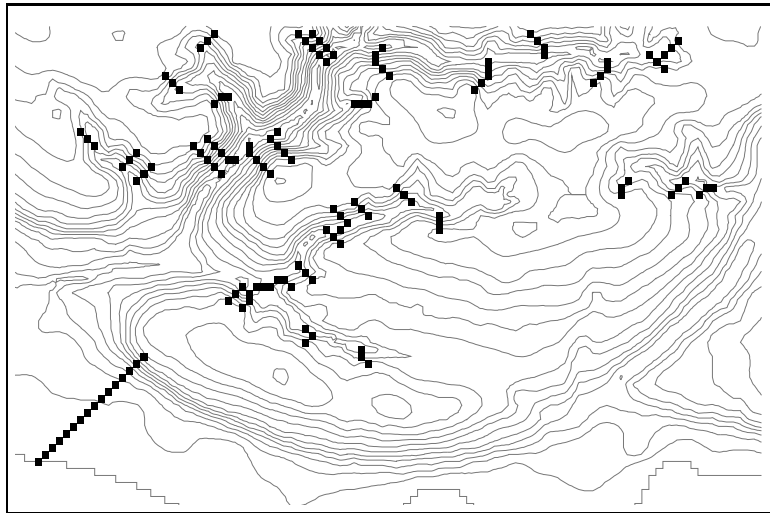
**Figur 3.12: Profilbygging.** Inneholder "grow" kriterier og regler for om en profil er ferdig bygd, eller om kriteriene brytes og profilen blir underkjent.

---

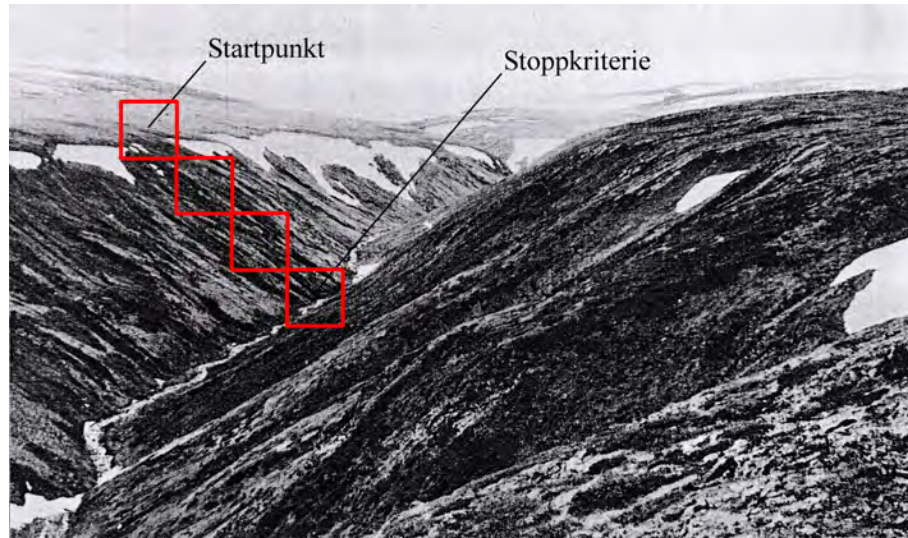
```
1  FOR k = 1 ... k < index + 1
2    IF elevationArray(k,99) != 0 AND
3      elevationArray(k,0) < 3
4      elevationArray(k,99) = 0
```

---

Figur 3.13: Fjerne små profiler



Figur 3.14: Profiler.



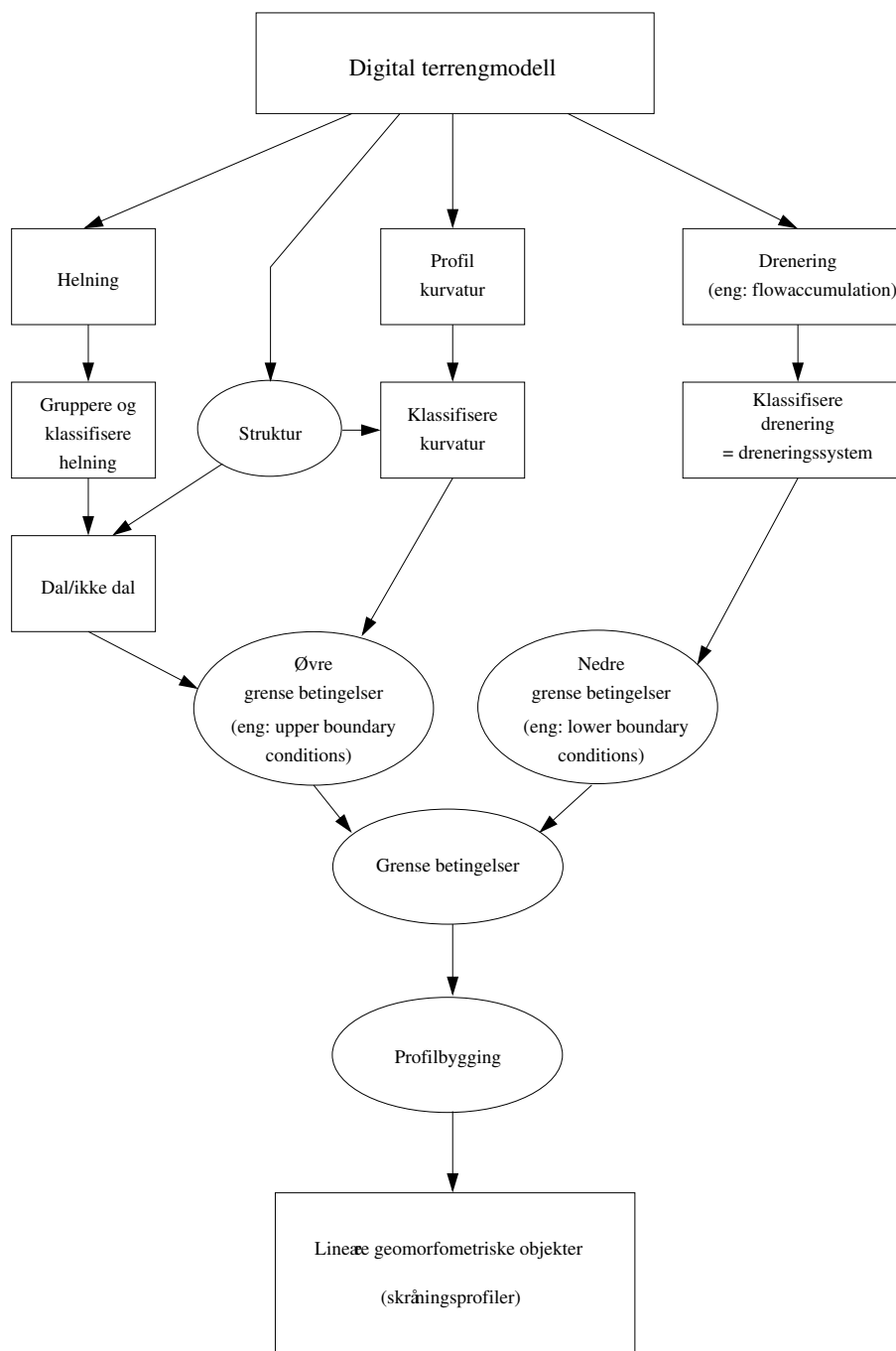
**Figur 3.15: Profil illustrasjon.** En tenkt skråningsprofil lagt over en V-dal. Jamfør figur 2.4. Jamfør også figurene 3.10, 3.11 og 3.14 for henholdsvis startpunkter, stoppkriterie (her drenering) og oversikt over godkjente profiler. Bakgrunnsfoto: Just Gjessing.

klasse som er skilt ut, bli definert med disse variablene. Skråningsprofiler fra hele testområdet Adventdalen, og ikke bare fra treningsområdet, er med i analysen. Flytskjema er vist i figur 3.17.

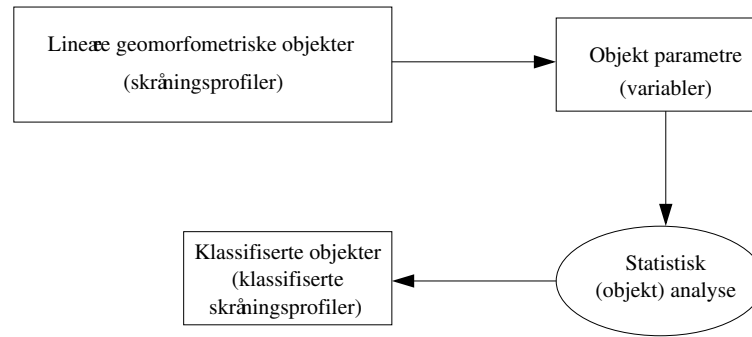
### 3.2.1 Variabler

Skråningsprofiler er basiselementet for alle landformer, og man regner med (McDermid 1995) at variable fra en digital profil analyse vil kunne gi ekstra styrke til fjern-analysedata i geomorfologiske studier, gjerne i kombinasjon med spektral og tekstural informasjon fra optisk fjernanalyse. I denne oppgaven vil det kun bli sett på parametre som beskriver en skråningsprofil. En kvantitativ beskrivelse av geomorfometriske objekter leder til parametre som representerer egenskaper til et geomorfometrisk objekt (Schmidt 1999).

I sammenheng med relieff formbeskrivelse og geomorfometriske analyser er det foreslått og beskrevet en rekke parametre (Evans 1972, Mark 1975, Pike 1988, McDermid 1995). En parametrisk representasjon av topografien fra digitale eller andre data er multivariat (Pike 1988). Det finnes intet magisk nummer, for eksempel gjennomsnittelig helning, som kan angi topografisk karakter i den grad av fullstendighet at den er tilstrekkelig for geomorfologisk tolkning. I tillegg gir oppfattingsevnen av topografiske former i feltet et kunstig samlet inntrykk av landskapet (Pike 1988). En geomorfolog ser mer enn bare helningsvinkler og drenering



Figur 3.16: Flytskjema algoritme. En algoritme som trekker ut lineære profilobjekter fra en digital terrengmodell. Det stilles geomorfologiske og strukturelle krav til metoden.



Figur 3.17: Flytskjema analyse.

når han eller hun betrakter det fysiske landskapet. Han eller hun vil istedet integrere en omfattende mengde av terrengformer i forskjellig skala. Dette gir en stor samling geometriske former og mønstre som til geomorfometriske formål må favnes av diskrete parametre. I kraft av denne syntetiske og multivariate naturen, vil karakterisering av topografi være et statistisk problem som krever en statistisk tilnærming og metode (Pike 1988).

Terrengparametrene høyde, helning og profil kurvatur, beskrevet i kapittel 2.1.2, danner grunnlaget for å beregne variable som skal inngå i en statistisk analyse. "When distributions of altitude, gradient, aspect, and vertical and horizontal convexity are taken together, the surface form is rather well specified", (Evans 1972). I denne oppgaven er aspekt og plan kurvatur ikke tatt med da skråningsprofilen blir studert to-dimensjonalt.

ArcView programvare beregner for hvert skråningsprofilobjekt statistiske variable basert på verdiene til dette objektet i en digital terrengmodell. Variablene er standard deskriptiver for en frekvens fordeling; maximum, mean, minimum, range, standard deviation og sum. Er verdiene i terrengmodellen heltall (integer), beregnes i tillegg majority, minority, median og variety. Verdiene i terrengmodellene er her høyde, helning og profil kurvatur. Hver celle i den enkelte skråningsprofil bidrar. Tabell 3.1 gir en oversikt.

I tillegg til disse 22 variablene er lengden av profilet og to egendefinerte variabler inkludert. De to egendefinerte variablene blir beregnet i algoritmen, og er basert på verdier fra den digitale høydemodellen. Den første variabelen, Ratio, er et forholdstall (derav navnet) med verdier som varierer mellom null og en. Variabelen blir senere multiplisert med hundre for å få en prosentverdi, og dermed bli en statistisk mer egnet variabel. Det beregnes en linje som forbinder endepunktene i en profil. Deretter deles den største differansen fra et punkt på denne linja og et punkt på profilen, med høydeverdien til profilen. Punktene på profilen er pikselverdiene. Her kunne man utført en regresjonsanalyse og fått tilgang til punkter



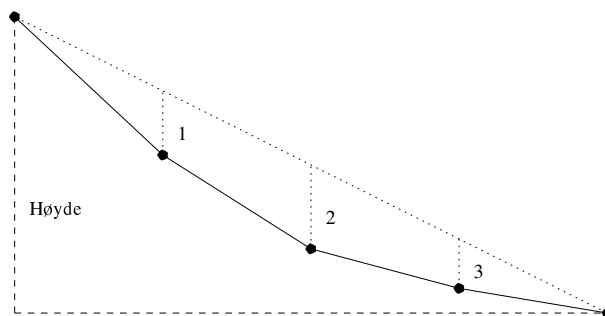
Tabell 3.1: Profilvariable. ArcView beregner følgende statistikk for hvert skråningsprofilobjekt.

Høyde (integer)	Helning (float)	Profil kurvatur (float)
Maximum	Maximum	Maximum
Mean	Mean	Mean
Minimum	Minimum	Minimum
Range	Range	Range
StDev	StDev	StDev
Sum	Sum	Sum
Majority		
Minority		
Median		
Variety		

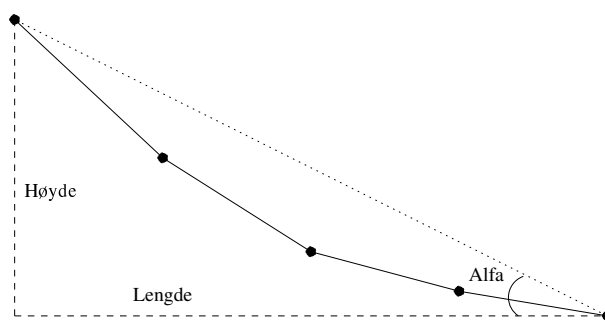
langs hele profilen og ikke bare for pikselverdiene. Den valgte metoden er enklere beregningsmessig, og vil i tillegg bli mer nøyaktig med høyere oppløsning. Den andre variabelen, Vinkel, er vinkelen til linja som forbinder endepunktene i beregningen av variabelen Ratio. Begge variablene er beskrevet i den forklarende figuren 3.18, og beregninger i algoritmen er vist i figur 3.19.

Med disse 3 variablene og de 22 variablene beregnet i ArcView, er det nå 25 variable som beskriver størrelsen (lengden og høyden), helning og kurvatur til et profil, og den nye variabelen som beskriver profilets "avvik fra en rett linje". Flere av de automatisk beregnede variablene fra ArcView forteller lite, eller ingenting, om formen til profilet. Disse er Maximum, Mean, Minimum, StDev, Sum, Majority, Minority, Median og Variety for høyden, i tillegg til Sum helning. Nevnte variabler har liten nytteverdi for analysene og ekskluderes fra videre bruk. Tabell 3.2 viser de 15 variablene som er med videre.

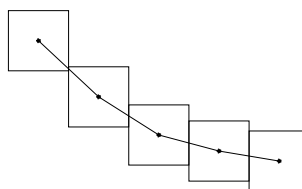
Variabler brukt i en klassifikasjonsmodell bør ikke være gjensidig avhengige. Bare hvis variablene ikke er korrelerte, vil man kunne anta at hver variabel bidrar med sin individuelle del til forklaringen av topografien, og dermed være verdifull for klassifikasjonsmodellen (Weibel og DeLotto 1988). Mange variabelmål beskriver like attributter av form; korrelasjon og multivariat analyse reduserer denne redundansen. Numeriske signaturer eller "fingeravtrykk" av formen er satt sammen av uavhengige variabler (Pike 1995). For å undersøke mulige sammenhenger mellom parametrene, ble lineære korrelasjons koeffisienter beregnet for variablene i tabell 3.2. Korrelasjonsberegningen er utført med formel 2.2.



(a) Ratio



(b) Vinkel



(c) Piksler

**Figur 3.18: Nye variable.** Ratio, figur (a), beregnes ved å dele den største differansen fra et punkt på profilen og en linje som forbinder endepunktene, med høyden til profilet. I dette tilfellet blir det differansen til punkt 2. Det multipliseres med hundre for å få et heltall.  $Ratio = \text{størstedifferanse} / \text{høyde} * 100$ . Vinkelen Alfa (heretter kalt Vinkel), figur (b), beregnes fra høyden og lengden til profilet.  $Alfa = \arctan(\frac{\text{høyde}}{\text{lengde}})$ . Figur (c) viser hvordan punktene representerer piksler. For Ratio og Vinkel se figur 3.19.

---

```
1  FOR k = 1 ... k < index + 1
2    IF elevationArray(k,99) = 1
3      lengden = elevationArray(k,0), altså space
4      max_høyde = elevationArray(k,1)
5      min_høyde = elevationArray(k,lengden)
6
7      a = (max_høyde - min_høyde) /
8          ((lengden - 1) * cellsize)
9      b = max_høyde
10
11     FOR m = 1 ... m < lengden + 1
12       linje = b - (a * (m - 1) * cellsize)
13       hoyde = elevationArray(k,m)
14       range = linje - høyde
15
16       IF range > max_range
17         max_range = range
18
19       dimensionless = (max_range /
20                       (max_høyde - min_høyde)) * 100
21       vinkel = (atan(a) / (2 * 3,1415926535)) * 360
```

---

Figur 3.19: Ratio og Vinkel. Ratio går i programkoden under navnet dimensionless.

**Tabell 3.2: Variabler.** Variabler som beskriver formen på et skråningsprofilobjekt. Alle er beregnet fra en grid digital høydemodell. Variabel 1-13 er beregnet med ArcView, mens variabel 14-15 er beregnet i algoritmen.

Variabel	Navn	Beskrivelse	Enhet
$x_1$	Lengde	Antall piksler ganget med celledørrelse	meter
$x_2$	Height	Høydeforskjell mellom første og siste piksel	meter
$x_3$	Min slope	Laveste helningsverdi for et piksel i profilen	grader
$x_4$	Max slope	Høyeste helningsverdi for et piksel i profilen	grader
$x_5$	Range slope	Forskjell fra laveste til høyeste helningsverdi	grader
$x_6$	Mean slope	Gjennomsnittlig helningsverdi for profilen	grader
$x_7$	StDev slope	Standardavvik for helning for profilen	grader
$x_8$	Min curvature	Laveste kurvaturverdi for et piksel i profilen	grader/100 m
$x_9$	Max curvature	Høyeste kurvaturverdi for et piksel i profilen	grader/100 m
$x_{10}$	Range curvature	Forskjell fra laveste til høyeste kurvaturverdi	grader/100 m
$x_{11}$	Mean curvature	Gjennomsnittlig kurvaturverdi for profilen	grader/100 m
$x_{12}$	StDev curvature	Standardavvik for kurvatur for profilen	grader/100 m
$x_{13}$	Sum curvature	Summen av kurvaturverdiene for profilen	grader/100 m
$x_{14}$	Ratio	Den nye variabelen, figur 3.18.	dimensjonsløs
$x_{15}$	Vinkel	Vinkelen til Ratio, figur 3.18.	grader

### 3.2.2 Objektklassifikasjon

Det er i forrige kapittel sett på variabler i egenskapen av deskriptive parametre for skråningsprofilobjekter. Neste steg i analysen er å klassifisere, kapittel 2.1.4, objektene til hensiktsmessige grupper. Hvert profil generert fra algoritmen er et lineært geomorfometrisk objekt med objektattributter som klassifiseringen vil basere seg på. Objektattributtene blir variable i en multivariat dataanalyse. Det er skråningsprofiler med en karakteristisk V-dalsform det er ønskelig å skille fra andre dalformer. Med kvantitativ klassifisering er det i tillegg et mål å finne gjentakbare, objektive og stabile prosedyrer (Blong 1975). Klassifiseringen kan også gi informasjon om hvilke variabler som er mest hensiktsmessige for å sammenligne og skille skråningsprofiler.

Klassifikasjonen av de geomorfometriske objektene er basert på variabler relatert til formen på objektet (profilet) og dermed prosessene i tid og rom. Det kan dermed begrunnes at det utføres en statistisk klassifikasjon av geomorfologiske prosesser. Det blir gjennomført styrt og ikke-styrt klassifikasjon, se kapitlene 2.4.1 og 2.4.2.

I styrt klassifikasjon trengs det informasjon om profiler der den geomorfologiske klassen er kjent. Det er valgt ut 15 treningsprofiler som etter undersøkelse

av plassering og form er delt inn i de to gruppene V-dalsprofiler og andre profiler. Det er valgt lineær diskriminantanalyse som metode; lineære kombinasjoner av variable som beregner maksimumsforskjeller mellom grupper. Disse funksjonene kan så bli brukt til å klassifisere det originale testdatasettet eller nye uavhengige datasett av testområder (McDermid og Franklin 1995). Oversiktskart over klassifiserte profiler, klassifisering av treningsprofiler og feilmatriser benyttes for å vurdere resultatene.

Når det gjelder ikke-styrt klassifikasjon må det velges avstandsmål og forbindelsesmetode. Det finnes flere alternativer, og det er valgt kvadratisk euklidavstand og gjennomsnittlig forbindelse. Et annet praktisk problem er å bestemme antall grupper hvor det kan klassifiseres observasjoner. Det er valgt å utføre analysen med fem grupper som siste inndeling. Motivasjonen er at en gruppe vil inneholde V-dalsprofiler, og en annen gruppe inneholde andre profiler. Ved å ha med grensetilfeller som faller mellom disse to, eller utenfor, blir det fem grupper. Det er heretter valgt å kalle grupper i en ikke-styrt klassifikasjon for klasser. Dette for lettere å skille styrt og ikke-styrt klassifikasjon i resultatkapittelet. Hvor gode resultatene er etter en ikke-styrt klassifikasjon, må evalueres. Dette kan gjøres ved en visuell inspeksjon eller ved statistiske analyser (Weibel og DeLotto 1988). I denne oppgaven vil det bli laget oversiktskart over de klassifiserte profilene, vist tabell over klassifisering av treningsprofiler og beregnet feilmatriser.



# Kapittel 4

## Resultater

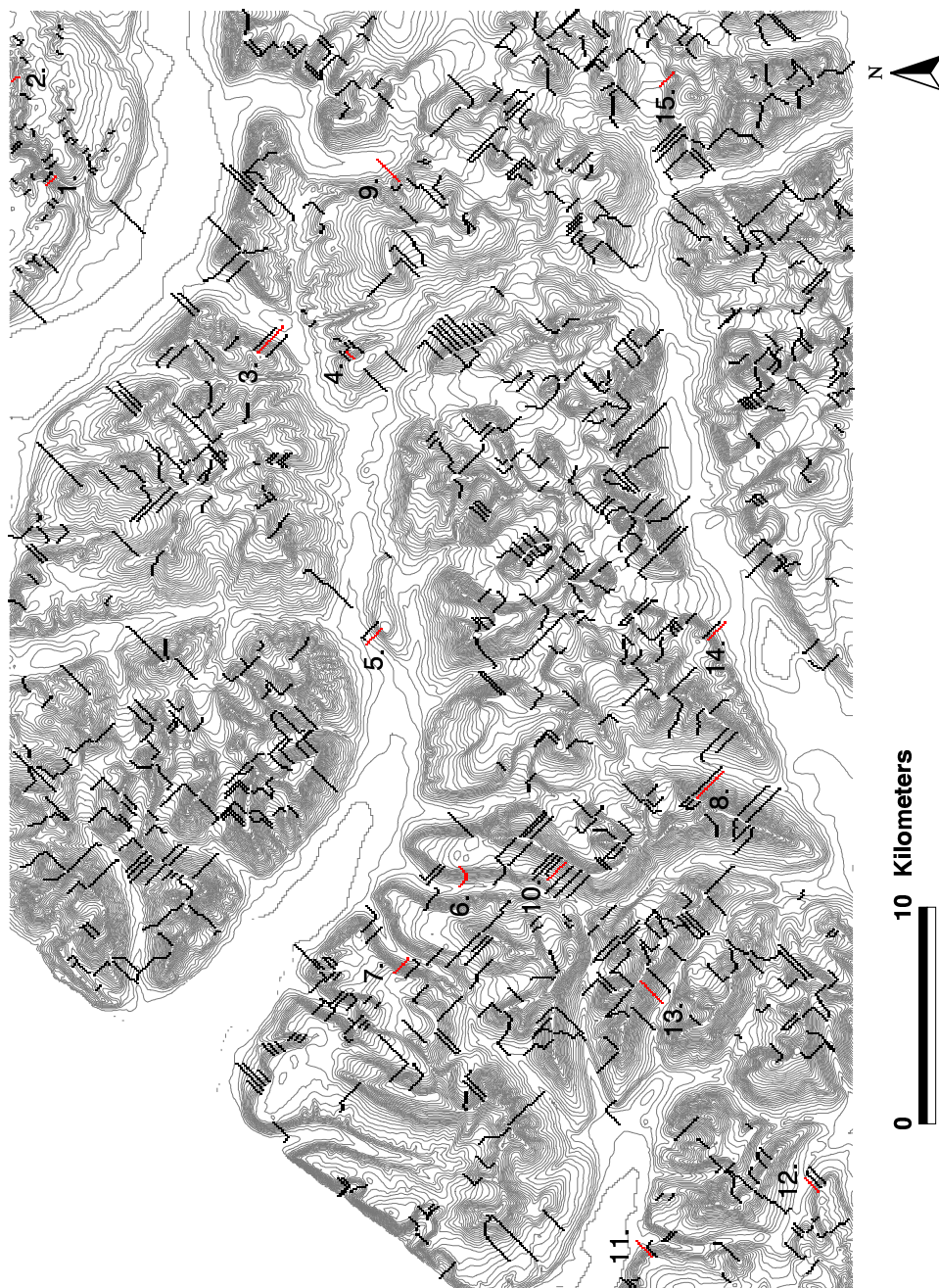
### 4.1 Profiler

Figur over alle genererte skråningsprofiler for Adventdalen testområde er vist i figur 4.1. Numrene i figuren refererer til 15 utvalgte profiler som benyttes i en styrt klassifikasjon. Disse regnes som allerede kjente profiler og fungerer som treningsprofiler i klassifikasjonen. Profilene er forhåndsinn delt i de to gruppene V-dalsprofiler og andre profiler. Tillegg C inneholder de femten profilene i hver sin figur, med dertil forhåndsbestemt gruppetilhørighet. Disse femten profilene gir også eksempler på ekstraherte profiler fra en digital høydemodell, se figur 4.2. Alle profilene i figur 4.1 tilfredstiller krav satt i tidligere kapitler til skråningsprofilekstraksjon.

### 4.2 Variabler

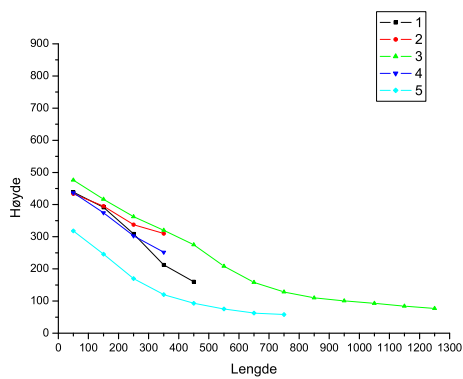
For hvert lineære profilobjekt beregnes det deskriptive variabler som beskrevet i kapittel 2.1.2 og 3.2.1. Tilsammen utgjør det tjuefem variabler, objektparametre som beskriver et skråningsprofil. Imidlertid vil en del av variablene gi statistiske mål som sier lite eller ingenting om formen på selve profilet. De variablene som dette gjelder, fjernes, og de resterende femten variablene er vist i tabell 3.2. Det søkes videre etter variabler som er uavhengige av hverandre for å øke verdien (Pike 1995, Weibel og DeLotto 1988) på den videre analysen. Korrelasjonskoeffisienter ble beregnet, og resultatet kan ses i tabell 4.1. Det er valgt en korrelasjonskoeffisiensgrense på 0,7. For å minske redundans, blir bare en variabel fra hvert par av høyt korrelerte variabler tatt med i en klassifikasjon. Hvis to variable korrelerer med en verdi på 0,7 eller mer, vil en av variablene fjernes fra den videre analysen.

Mean slope og Vinkel vil selvfølgelig korrelere. Vinkel velges bort da den er

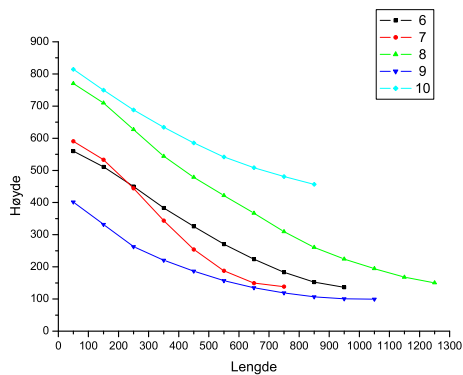


**Figur 4.1: Profiler Adventdalen.** Automatisk elstraherte skråningsprofiler. Koter med ekvidistanse på 30 meter er generert fra høydemodellen. Numrene i figuren refererer til profileksempelene i figur 4.2 og tillegg C. De numrerne profilene bidrar som treningsprofiler i en styrt klassifikasjon. Alle profilene i figuren tilfredstiller øvre grensebetingelser, nedre grense betingelser og regler for profilbygging.

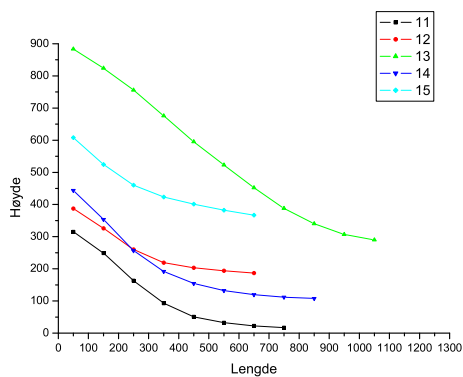




(a) Treningsprofi ler 1-5



(b) Treningsprofi ler 6-10



(c) Treningsprofi ler 11-15

**Figur 4.2: Treningsprofiler.** Profilene benyttes som treningsprofiler i styrt klassifikasjon. I tillegg viser de eksempler på ekstraherte skråningsprofiler fra en digital høydemodell. Numrene refererer til figur 4.1. Se også tillegg C.

Tabell 4.1: Korrelasjonsmatrise. Pearson korrelasjonskoeffisienter for variablene i tabell 3.2. (-) betyr at koeffisienten ikke er statistisk signifikant på 95 prosents nivå.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
$x_2$	0,781													
$x_3$	-0,331	-0,146												
$x_4$	-	0,371	-											
$x_5$	0,233	0,371	-0,641	0,808										
$x_6$	-0,325	0,232	0,527	0,508	-									
$x_7$	-	0,135	-0,542	0,769	0,912	0,148								
$x_8$	-	-	-	-0,329	-0,281	-0,089	-0,260							
$x_9$	-0,269	-0,183	0,135	0,216	0,086	0,275	0,175	-0,168						
$x_{10}$	-0,211	-0,124	-	0,350	0,230	0,247	0,280	-0,719	0,806					
$x_{11}$	-0,127	-0,134	-	-	-	0,115	-	0,231	0,594	0,280				
$x_{12}$	-0,624	-0,462	0,258	0,184	-	0,388	0,173	-0,484	0,733	0,807	0,303			
$x_{13}$	-	-	-	-	-	0,103	-	0,226	0,492	0,211	0,879	0,145		
$x_{14}$	0,157	-	-0,572	0,331	0,592	-0,464	0,622	-0,166	-	-	-	-0,136	-	
$x_{15}$	-0,363	0,220	0,366	0,570	0,222	0,911	0,298	-0,109	0,174	0,188	-	0,343	-	-0,331

noe mer spesiell. Range slope og StDev slope korrelerer også med en verdi over 0,7. StDev og range er som regel korrelerte, og StDev er en mer stabil variabel enn range (Evans 1972). Range slope blir fjernet. Det samme gjelder for de korrelerte variablene range curv og StDev curv, der range curv blir fjernet av samme årsak. For de korrelerte variablene max slope og range slope, er range slope allerede fjernet. Range curv er også allerede fjernet fra de korrelerte variabelparene max curv, range curv, og min curv, range curv. Lengden og høyden til et profil har en gjensidig avhengighet, og en lang profil er dermed også en høy profil. Det er valgt å beholde variabelen lengde, og den er da med videre i analysen. For de korrelerte variabelparene mean curv, sum curv og max curv, StDev curv beholdes henholdsvis sum curv og StDev curv. De to sistnevnte ses på som mer beskrivende variabler for et profil. Bratte skråninger er glattere en slake, og det henspiller seg i korrelasjonen av max slope og StDev slope. StDev slope er basert på alle cellene i et profil, og sier noe om profilets variasjon fra en rett linje. StDev slope er dermed mer beskrivende for profilet enn max slope, som er avhengig av en enkeltverdi. StDev slope beholdes. Tabell 4.2 gir en oversikt over de åtte gjenværende uavhengige variablene til bruk i klassifikasjonene.

Landformen V-dal og formen på denne ble beskrevet i teorikapitlene 2.2 og 2.3. Det er derfor rimelig med en a priori oppfatning av hvordan variabelverdiene for de klassifiserte V-dalsprofilene vil bli etter en klassifikasjon. Figur 4.2 og

Tabell 4.2: Uavhengige variable. 8 variabler til bruk i klassifikasjonene. Ingen av variablene har høy korrelasjon seg imellom.

Høyde	Helning	Profil kurvatur	Spesial
Lengde	Min slope	Min curvature	Ratio
	StDev slope	StDev curvature	
	Mean slope	Sum curvature	

tillegg C gir også en pekepinn på hva som kan forventes. Slope mean vil mest sannsynlig ligge rundt tredive grader med et intervall på begge sider, curv sum vil være nær null, curv min liten, curv std liten, slope min vil være over en viss grense, slope std liten, Ratio liten, og lengden på profilet vil variere.

### 4.3 Klassifiserte profiler

Det er først utført en styrt og en ikke-styrt klassifikasjon med de åtte variablene fra tabell 4.2 for testområdet Adventdalen. Styrt klassifikasjon tar i bruk 15 treningsprofiler for å klassifisere totalt 725 profiler. Tabell 4.3, 4.4 og 4.5 viser for styrt-klassifikasjon henholdsvis sammendrag av klassifikasjonen, diskriminantfunksjonen og variabelgjennomsnitt for gruppene. Diskriminantfunksjonen for gruppene er beregnet med ligning 2.4. Figur 4.3 viser klassifikasjonsresultatet, hvor gruppe 1 er V-dalsprofiler, og gruppe 2 er andre profiler. En måte å evaluere treffsikkerheten til de 15 treningsprofilene på, er en tabell hvor man identifiserer de faktiske geomorfologiske klassene og sammenligner dem med resultatene fra diskriminantanalysen. Utfallet blir gitt som prosent riktig klassifisert, for hver klasse og totalt (McDermid og Franklin 1995). Tabell 4.3 viser at alle de 15 treningsprofilene, figur 4.2 og tillegg C, er korrekt gruppert i en styrt klassifikasjon. Et slikt resultat betyr at treningsprofilene er homogene, mulig å separere og at klassifikasjonsstrategien fungerer godt for treningsdataene. Det sier imidlertid mindre om hvor godt klassifikasjonen presterer andre steder (Lillesand og Kiefer 2000). Tabell 4.5 viser gjennomsnittlige variabelverdier for grupper, og det viser seg at noen av variabelantagelsene stemmer. StDev slope er mindre for gruppe 1 enn for gruppe 2. Min slope har en høyere verdi og Ratio en lavere verdi for gruppe 1.

En ikke-styrt klassifikasjon plasserer profilene i fem klasser. Variabelgjennomsnitt for hver klasse er vist i tabell 4.6. Figur 4.4 viser profilene for Adventdalen, der de fem klassene er gitt forskjellige farger. Klasse 1 inneholder V-dalsprofiler, mens klasse 3 inneholder V-dalsprofiler og andre profiler. De andre klassene inneholder andre profiler. Fra tabell 4.6 viser det seg at klasse 1 har høyere min

Tabell 4.3: Sammendrag av styrt klassifikasjon 8 variable. Gruppeplassering av 15 forhåndskjente observasjoner (treningsprofiler) etter en styrt klassifikasjon. 8 variable ligger til grunn, tabell 4.2.

	Sanne grupper	
	1	2
Antall observasjoner	8	7
Gruppeplassering		
1	8	0
2	0	7
Total N	8	7
N Korrekt	8	7
Proportion	1,000	1,000
N = 15      N Korrekt = 15      Proportion Korrekt = 1,000		

slope og mean slope enn de andre klassene. Der er imidlertid vanskelig å se klare forskjeller mellom klassene bare ved variabelgjennomsnitt.

**Tabell 4.4: Diskriminant funksjon 8 variable.** Den lineære diskriminantfunksjonen for gruppe 1 og 2 er basert på 8 variable, og beregnet med ligning 2.4. En profil blir plassert i den gruppen hvor den får høyest verdi.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Konstant	-436,0	-467,9
Lengde	0,2	0,2
MIN slope	4,7	6,0
StDev slope	-23,1	-20,5
MEAN slope	23,2	19,8
MIN curvature	94,1	103,8
StDev curvature	1135,7	1209,4
SUM curvature	24,8	16,7
Ratio	13,3	15,6

**Tabell 4.5: Variabel gjennomsnitt styrt klassifikasjon 8 variable.** Variabel gjennomsnitt og StDev for grupper.

Variabel	Gruppe 1		Gruppe 2	
	Mean	StDev	Mean	StDev
Lengde	800,00	338,1	900,00	223,6
MIN slope	6,3158	4,464	2,1641	1,645
StDev slope	8,5252	2,636	11,0526	1,304
MEAN slope	21,570	1,929	14,983	1,829
MIN curvature	-0,35250	0,06091	-0,42431	0,06495
StDev curvature	0,22694	0,09321	0,18376	0,04485
SUM curvature	0,15763	0,2723	0,00967	0,2268
Ratio	11,500	4,309	31,714	2,984

Tabell 4.6: Variabel gjennomsnitt ikke-styrt klassifikasjon 8 variable. Variabel gjennomsnitt for klasser. Lengdeverdiene er avrundet til nærmeste hundreverdi, da det er oppløsningen for terrengmodellen.

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Observasjoner	402	82	226	13	2
Variabel					
Lengde	600	1600	1100	2100	2600
MIN slope	7,2587	3,7874	5,7412	3,9633	3,2179
StDev slope	8,3189	7,8887	8,0438	7,6337	6,7550
MEAN slope	18,5060	14,8973	17,0016	14,0708	11,4461
MIN curvature	-0,4483	-0,4198	-0,4449	-0,3943	-0,5563
StDev curvature	0,2538	0,1539	0,1825	0,1250	0,1434
SUM curvature	0,0946	0,0926	0,1003	0,0787	0,2516
Ratio	18,5920	21,7683	19,9381	20,1538	17,5000

I metodekapitlet 3.2.1 er det beskrevet to nye variabler for en skråningsprofil. Begge disse beregnes i algoritmen, og det vil være interessant å se hvordan de vil klassifisere profilene. De to variablene er Ratio og Vinkel. Vinkel korrelerer med variabelen mean slope og var dermed fjernet fra de åtte variablene i de tidligere analysene. Her brukes Vinkel da den gir helningen mellom endepunktene i beregningen av Ratio, og de to hører da sammen.

Det blir utført en styrt og en ikke-styrt klassifikasjon med de to variablene Ratio og Vinkel for testområdet Adventdalen. Styrt klassifikasjon tar i bruk 15 treningsprofiler for å klassifisere totalt 725 profiler. Tabell 4.7, 4.8 og 4.9 viser for styrt klassifikasjon, med de to variablene Ratio og Vinkel, henholdsvis sammendrag av klassifikasjonen, diskriminantfunksjonen og variabelgjennomsnitt for gruppene. Diskriminantfunksjonen for gruppene er beregnet med ligning 2.4. Som for styrt-klassifikasjon med åtte variable gir to variable også korrekt klassifiserte treningsprofiler til grupper profilene i utgangspunktet var medlem av, se tabell 4.7. Profilene i figur 4.5 er tildelt gruppe etter diskriminantfunksjonen i tabell 4.8. Røde profiler tilhører gruppe 1, profiler med V-dalsform. Tabell 4.9 stemmer overens med hva som var forventede variabelgjennomsnittsverdier for gruppe 1, V-dalsprofiler. Ratio er lavere og Vinkel brattere for V-dalsprofiler enn for andre profiler. En lav verdi for Ratio betyr at profilen avviker lite fra en rett linje som forbinder endepunktene på samme profil. Når variabelen Vinkel i tillegg viser at denne linja har en gjennomsnitts helning på 28 grader, er det et godt resultat for en V-dalsprofil.

En ikke-styrt klassifikasjon med de to variablene Ratio og Vinkel gir variabelgjennomsnitt som i tabell 4.10. Figur 4.6 viser profilene inndelt i klasser. Klasse 1

Tabell 4.7: Sammendrag av styrt klassifikasjon 2 variable. Gruppeplassering av 15 forhåndskjente observasjoner (treningsprofiler) etter en styrt klassifikasjon. Variablene Ratio og Vinkel ligger til grunn.

	Sanne grupper	
	1	2
Antall observasjoner	8	7
Gruppeplassering		
1	8	0
2	0	7
Total N	8	7
N Korrekt	8	7
Proportion	1,000	1,000
N = 15      N Korrekt = 15      Proportion Korrekt = 1,000		

Tabell 4.8: Diskriminant funksjon 2 variable. Den lineære diskriminantfunksjonen for gruppe 1 og 2 er basert på 2 variable, og beregnet med ligning 2.4. En profil blir plassert i den gruppen hvor den får høyest verdi.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Konstant	-39,305	-57,195
Ratio	1,073	2,451
Vinkel	2,356	1,859

inneholder V-dalsprofiler og minner om gruppe 1 fra den styrte klassifikasjonen. Klassen inneholder imidlertid også andre profiltyper, og V-dalsprofiler er i tillegg representert blant annet i klasse 3. Det kan virke som om en ikke-styrt klassifikasjon gir dårligere resultater enn en styrt klassifikasjon på datasettet generert fra testområdet Adventdalen.

Tabell 4.9: Variabel gjennomsnitt styrt klassifikasjon 2 variable. Variabel gjennomsnitt og StDev for grupper.

Variabel	Gruppe 1		Gruppe 2	
	Mean	StDev	Mean	StDev
Ratio	11,500	4,309	31,714	2,984
Vinkel	28,125	4,257	19,714	2,498



Tabell 4.10: Variabel gjennomsnitt ikke-styrt klassifikasjon 2 variable. Variabel gjennomsnitt for klasser.

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Observasjoner	284	316	13	111	1
Variabel					
Ratio	11,0282	22,0854	4,3077	34,6126	53,0000
Vinkel	24,5070	20,8703	13,5385	16,8829	9,0000

Lillesand og Kiefer (2000) beskriver en ofte benyttet metode for å uttrykke klassifikasjonsnøyaktighet. Metoden innebærer bearbeiding av en klassifikasjonsfeilmatrix. Feilmatriksen sammenligner, kategori for kategori, forholdet mellom kjent referansedata ("ground truth") og tilsvarende resultater fra en automatisk klassifikasjon. Objekter som er klassifisert til riktig kategori, finnes langs hoved-diagonalen i feilmatriksen (den strekker seg fra øverst til venstre til nederst til høyre). Alle ikke-diagonale elementer i matrisen representerer "errors of omission" (utelatelse) eller "errors of commission" (tar med for mye). "Omission errors" tilsvarer ikke-diagonale kolonne elementer. Det vil si objekter som skulle ha blitt klassifisert til en kategori, men er havnet i en annen. "Commission errors" er representert ved ikke-diagonale rad elementer. Det vil si objekter som er feilplassert i en kategori. Flere mål kan bli beregnet fra feilmatriksen. Total nøyaktighet (eng. overall accuracy) blir beregnet ved å dividere det totale antall riktig klassifiserte objekter på det totale antall av referanseobjekter. Produsents nøyaktighet (eng. producer's accuracy) er resultatet av å dividere antall korrekt klassifiserte objekter i hver kategori, med antall referanseobjekter for den kategorien (kolonne totalen). Dette tallet indikerer hvor godt objektene av den bestemte kategorien er klassifisert. Brukers nøyaktighet (eng. user's accuracy) blir beregnet ved å dividere antall korrekt klassifiserte objekter i hver kategori, med antall objekter som er blitt klassifisert til den kategorien (rad totalen). Dette tallet er et mål for sannsynligheten at et objekt, klassifisert til en kategori, faktisk representerer den kategorien på bakken.

I de to styrt klassifikasjonene er det gruppe 1 som inneholder V-dalsprofiler. De to ikke-styrte klassifikasjonene delte profilene inn i fem klasser. Styrt klassifikasjon krever kjente profiler som input. Ved å undersøke hvor de 15 kjente profilene ville plassert seg i en ikke-styrt klassifikasjon, ser man hvilke klasser som er dominert av V-dalsprofiler. En slik undersøkelse viser at klasse 1 og klasse 3 er V-dalsprofilklasser i klassifikasjonen med 8 variabler. En tilsvarende undersøkelse for klassifikasjonen med 2 variabler viser at det bare er klasse 1 som er en V-dalsprofilklasse. 30 profiler velges tilfeldig, og det bestemmes "ground truth"

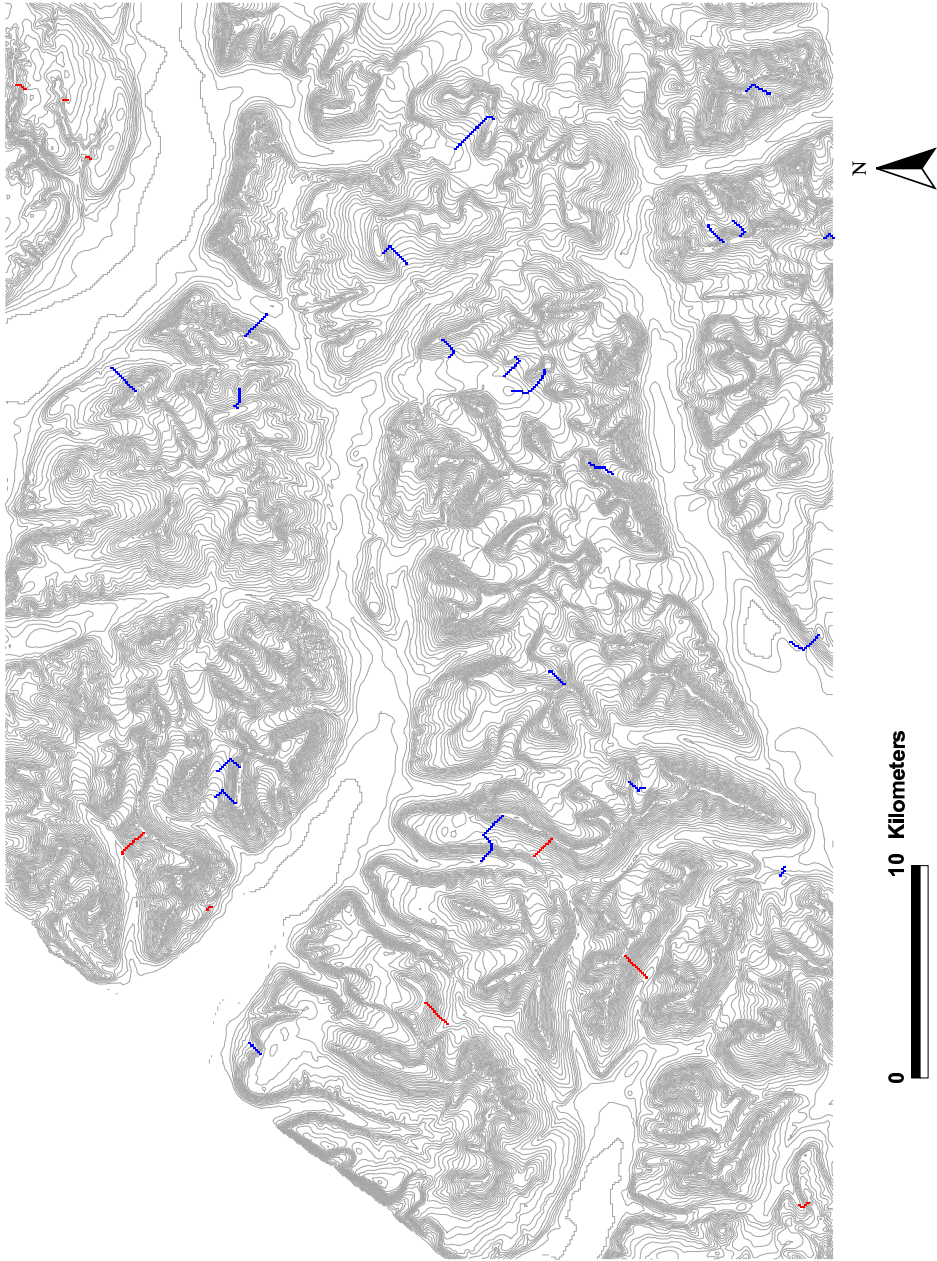
Tabell 4.11: Feilmatrixe styrt klassifikasjon 8 variable. Klassifiserte data er hentet fra figur 4.3, der V-dalsprofiler er gruppe 1 og Annet profil er gruppe 2. Referansedata er vist i figur 4.7.

Referansedata			
	V-dalsprofil	Annet profil	Rad totalen
Klassifiserte data			
V-dalsprofil	7	9	16
Annet profil	2	12	14
Kolonne totalen	9	21	30
Produsents nøyaktighet		Brukers nøyaktighet	
V-dalsprofil = 78 %		V-dalsprofil = 44 %	
Annet profil = 57 %		Annet profil = 86 %	
Total nøyaktighet = 63 %			

informasjon som fungerer som referansedata for hver profil, se figur 4.7. Referansedataene sammenlignes med resultatene fra klassifikasjonene. Da det er to kategorier, V-dalsprofiler og andre profiler, blir resultatet en 2 x 2 matrixe. I tillegg blir antall elementer i rader og kolonner, pluss elementer totalt, talt opp. Tabell 4.11, 4.12, 4.13 og 4.14 inneholder feilmatrixer for de fire klassifikasjonene.

Feilmatrixetabellene viser ugunstige resultater, med en total nøyaktighet på 70 % som det høyeste, og helt ned i 43 % på det laveste. Målet er å klassifisere V-dalsprofiler riktig. Produsents nøyaktighet for V-dalsprofiler viser gode resultater for alle feilmatrixene. De fleste av V-dalsprofilene har dermed blitt klassifisert riktig som V-dalsprofiler. Brukers nøyaktighet for V-dalsprofiler er derimot dårlig for alle feilmatrixene. Det er liten sannsynlighet for at profiler klassifisert som V-dalsprofiler faktisk er V-dalsprofiler. Denne sannsynligheten er 50 % eller lavere for alle klassifikasjonene. Alt for mange profiler blir klassifisert som V-dalsprofiler.

I analysen med bare de to variablene Ratio og Vinkel kan man plote dataene til de femten treningsprofilene i to dimensjoner, se figur 4.8. Dataene er gitt i tabell 4.15. Avstanden mellom punktene kan bli undersøkt visuelt i figuren og clusterne kan bli identifisert ved inspeksjon (Anderberg 1973). Figuren viser at de åtte V-dalsprofilene og de syv andre profilene har delt seg klart inn i sine respektive klasser. En styrt klassifikasjon med de to variablene Ratio og Vinkel gir brukbare resultater. Tabell 4.7 viser at de femten treningsprofilene ble klassifisert til sine respektive grupper, og figur 4.5 viser også tildels gode klassifiseringer. Feilmatrixen, tabell 4.3, gir imidlertid mindre oppløftende resultater. Allikevel er de to



Figur 4.7: Referansedata. 30 tilfeldig valgte skråningsprofiler med "ground truth" informasjon til bruk ved bearbeiding av en feilmatrix. Røde profiler er profiler som ligger i V-dalsområder.

Tabell 4.12: Feilmatrixe ikke-styrt klassifikasjon 8 variable. Klassifiserte data er hentet fra figur 4.4, der V-dalsprofiler er klasse 1 og 3, og Annet profil er de resterende klassene. Referansedata er vist i figur 4.7.

	Referansedata		
	V-dalsprofil	Annet profil	Rad totalen
Klassifiserte data			
V-dalsprofil	9	17	26
Annet profil	0	4	4
Kolonne totalen	9	21	30
Produsents nøyaktighet	Brukers nøyaktighet		
V-dalsprofil = 100 %	V-dalsprofil = 35 %		
Annet profil = 19 %	Annet profil = 100 %		
Total nøyaktighet = 43 %			

Tabell 4.13: Feilmatrixe styrt klassifikasjon 2 variable. Klassifiserte data er hentet fra figur 4.5, der V-dalsprofiler er gruppe 1 og Annet profil er gruppe 2. Referansedata er vist i figur 4.7.

	Referansedata		
	V-dalsprofil	Annet profil	Rad totalen
Klassifiserte data			
V-dalsprofil	7	8	15
Annet profil	2	13	15
Kolonne totalen	9	21	30
Produsents nøyaktighet		Brukers nøyaktighet	
V-dalsprofil = 78 %		V-dalsprofil = 47 %	
Annet profil = 62 %		Annet profil = 87 %	
Total nøyaktighet = 67 %			

Tabell 4.14: Feilmatrise ikke-styrt klassifikasjon 2 variable. Klassifiserte data er hentet fra figur 4.6, der V-dalsprofiler er klasse 1, og Annet profil er de resterende klassene. Referansedata er vist i figur 4.7.

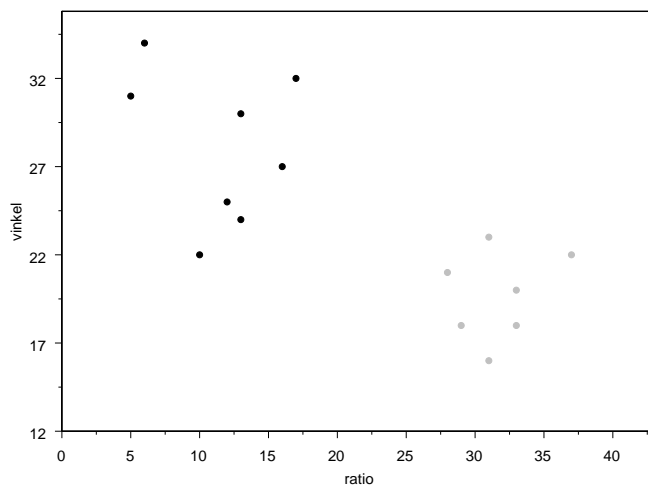
	Referansedata		
	V-dalsprofil	Annet profil	Rad totalen
Klassifiserte data			
V-dalsprofil	7	7	14
Annet profil	2	14	16
Kolonne totalen	9	21	30
Produsents nøyaktighet		Brukers nøyaktighet	
V-dalsprofil = 78 %		V-dalsprofil = 50 %	
Annet profil = 67 %		Annet profil = 88 %	
Total nøyaktighet = 70 %			

variablene enkle å beregne og det å ha få variabler er hensiktsmessig i en klassifikasjonsalgoritme.

Det er nå ønskelig å teste om diskriminantfunksjonen, tabell 4.8, beregnet med variabelverdiene Ratio og Vinkel fra testområdet Adventdalen, vil gi brukbare resultater for et område hvor terrengmodellen har en annen oppløsning. Figur 4.9 viser resultatet med denne diskriminantfunksjonen for testområdet Jotunheimen. Figuren inneholder genererte profiler produsert av algoritmen og viser at profilekstraksjon fungerer også for en digital høydemodell med 25 m oppløsning. Profiler klassifisert til gruppe en, altså V-dalsprofiler, har rød farge. Figuren ser ut til å vise for mange V-daler. Flere profiler er klassifisert som V-dalsprofiler enn hva landskapet tilsier. Grunnen er nok i hovedsak bruken av diskriminantfunksjonen beregnet fra en digital høydemodell med 100 m oppløsning. Bare øvre halvdel av figuren inneholder profiler. Dette har sammenheng med en terskel satt i algoritmen. Her var den satt til maks 2000 profiler, og denne kan endres.

## 4.4 V-dal

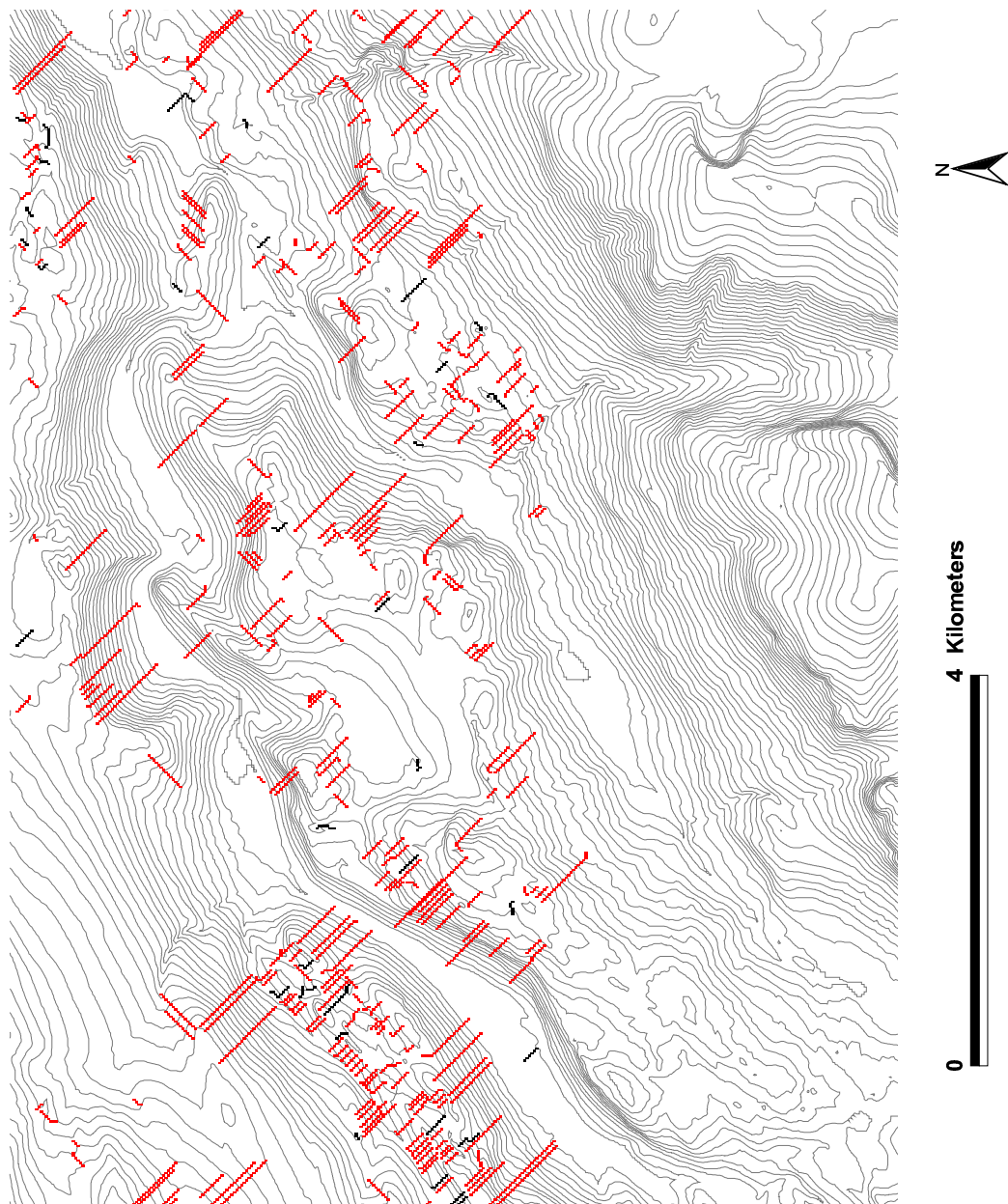
Daler blir skilt ut fra høydemodellen som en egen klasse i løpet av algoritmen. Programkoden i figur 3.3, 3.4 og 3.5 viser hvordan dette er implementert, og figur 3.6 viser resultatet for treningsområdet. Det er nevnt i metodekapittelet at treningsområdet inneholder et tilnærmet paleisk landskap. Dalene er ofte omgitt av brede plataer, eller et flatt eller bølgende relieff. Metoden er utviklet med tre-



Figur 4.8: To-dimensjonal clustering. Punktene representerer profilene i figur 4.2 og tillegg C. Sorte punkter representerer V-dals profiler, mens grå punkter representerer andre profiler.

Tabell 4.15: Oversikt over Ratio og Vinkel verdier for utvalgte profiler. Numrene refererer til profilene i figur 4.2 og tillegg C.

Profil nr.	Ratio	Vinkel	Profil nr.	Ratio	Vinkel
1. V-dal	6	34	9. Annet	31	16
2. V-dal	10	22	10. V-dal	13	24
3. Annet	29	18	11. Annet	31	23
4. V-dal	5	31	12. Annet	33	18
5. Annet	33	20	13. V-dal	13	30
6. V-dal	12	25	14. Annet	37	22
7. V-dal	17	32	15. Annet	28	21
8. V-dal	16	27			



Figur 4.9: Styrt klassifikasjon Jotunheimen 2 variable. Koter med ekvidistanse på 30 meter er generert fra høydemodellen. Røde profiler tilhører gruppe en, altså profiler med V-dalsform.

ningsområdet som datakilde, og en ser tydelig resultatet av det i figurene 4.10 og 4.11.

Figur 4.10 gir et eksempel fra treningsområdet hvor en V-dal har skjært seg ned i landskapet nord i kartet. V-dalsprofilene i figuren er klassifisert etter diskriminantfunksjonen fra klassifikasjonen med variablene Ratio og Vinkel, tabell 4.8. V-dalsområdet nord i figuren skiller seg fra resten av landskapet.

Figur 4.11 viser et område hvor terrenget er mer kuppert, og det mangler innslag av brede platåer mellom dalene. Profilene er her klassifisert etter samme prinsipp som for figur 4.10. I midten av figuren finnes en V-dal. Den er ikke skilt fra de omliggende landformer.



# Kapittel 5

## Diskusjon

### Ekstraksjon av skråningsprofiler

Det er en digital høydemodell som er eneste datakilde i en automatisk ekstraksjon. Metoden er tenkt å fungere for alle Arc/Info grid-format høydemodeller med forskjellig oppløsning. Automatikk tilfører objektivitet, og ofte større nøyaktighet, i gjenkjennelsen av landformer og kan gi en objektiv løsning der man ellers måtte ha brukt skjønn. Dette åpner for kvantitative sammenligninger og resultater som lar seg gjenskape. En ulempe med automatiske metoder er at de foreløpig ikke skiller mellom kunstige feil og virkelighet (Tribe 1991). Skråningsprofiler er profiler av dalsider, og det er dermed ikke tverrprofilen til en dal som ekstraheres. Der det er en dal med et assymetrisk tverrprofil, vil det kunne bli konstatert V-dalsprofil på den ene siden, mens den andre siden vil kunne ha en annen form. Når man modellerer i GIS, er det tre hovedfaktorer av feilforplantning som skaper potensielle problemer for utfallet. Disse er kvaliteten til dataene, kvaliteten til selve modellen og interaksjon av data med modellen (DeMers 2002).

Interaksjon av data med modellen blir ikke diskutert. Kvaliteten til dataene er her kvaliteten av de digitale høydemodellene. Nøyaktigheten av hva som ekstraheres fra digitale høydemodeller, er direkte relatert til kvaliteten og oppløsningen av selve modellen (Moore et al. 1993). Grid-cellestørrelsen er for testområdet Adventdalen og treningsområdet Coloradofjella, 100 x 100 m, og i testområdet Jotunheimen 25 x 25 m. V-daler er store landformer, og en pikselstørrelse på 100 m er kapabel til å fange disse formene. Informasjonen representert i hver celle i en høydemodell med stor cellestørrelse dekker et større område og er dermed mindre sensitiv for lokalt støy enn en modell med mindre cellestørrelser. Cellestørrelsen må allikevel ikke være for stor til å kunne representere landformen presist (Tribe 1991). Det er viktig at skalaen til grunnlagsdataene gjenspeiler det som er nødvendig for undersøkelsen. Små-skala kart kan ha for lite detaljer, og

stor-skala kart kan inneholde for mye informasjon, noe som kan bli en byrde på grunn av datavolumet (Burrough og McDonnel 1998). To områder med forskjellig oppløsning gir en pekepinn på hvordan metoden fungerer med varierende oppløsning. Det ville vært lurt og sett på flere høydemodeller som representerte en større variasjon i landskap, geologi og klima.

Kvalitet og oppbygging av selve modellen er en feilkilde. Metoden begynner med en førprossesering som består av å beregne terrengparametre, og å klassifisere, eventuelt gruppere, disse. Datasettene blir brukt som input til algoritmen. Beregningen av de seks datasettene er avhengig av terskler. Noen terskler er valgt fra teorien, andre etter prøving og feiling og er dermed empiriske. Landskapet er variabelt, og tersklene vil nok variere fra landskap til landskap. En mulig løsning kunne være å la terskelverdiene være en funksjon av parametre som beskriver landskapet. De vil da bli region spesifikke, og algoritmen vil passe best mulig til det valgte terrenget. Eksempler på parametre som beskriver landskapet, er grain (Pike 1988), fraktaler, ruggedness og texture. Dalgrenser er et viktig delmål i metoden. Det er denne grensen som skiller ut dalen, og det er langs denne grensen startpunktene ligger. Metoden for å finne dalgrenser, kunne blitt videreutviklet eller angrepet på en annen måte. Qian et al. (2000) tar for seg en annen teknikk og ser også på faktorer som vil påvirke algoritmedesignen. Slike faktorer kan være terskler og terrasser, diskontinuerlige dalgrenser og variasjoner i dalgrensene innenfor et område grunnet utvikling i forskjellige geologiske perioder. Skråningsprofilene er basert på definisjoner fra teorien. Evans (1987) påpeker at hvis det ikke er noen sammenheng mellom landformsdefinisjoner blant forskere, vil sammenligninger og innsamling av pålitelige resultater være umulig.

En interessant utvidelse av metoden vil være å la brukeren velge områder hvor han/hun er interresert i å se på profiler. De må oppfylle samme krav som skråningsprofilobjektene for å kunne sammenlignes. De må altså begynne i en celle som tilfredstiller startpunktetingelsene (ligger langs kanten av dalen). I tillegg B.3 er det et eksempel på en aml som gir brukeren mulighet til selv å velge startpunkt.

Det er gjennomført flere studier av skråningsprofiler tilknyttet digitale høydemodeller (McDermid 1995, Pike 1988, Rasemann og Schmidt 2001). I denne oppgaven blir skråningsprofiler definert på bakgrunn av informasjon fra slike studier. I tillegg er det her sett på to nye parametre som beskriver en skråningsprofil. Ekstraksjon er automatisk, og oppgaven tar skråningsprofilanalyse et steg videre med klassifikasjon av profilene og deres tilknytning til V-daler.

## Multivariate data

En kjøring av algoritmen på en digital høydemodell gir et grid bestående av profiler som oppfyller alle krav satt i metoden. Det beregnes verdier fra deskriptive variabler for hvert profil. Dette gir et multivariat datasett hvor hver rad er en profil og kolonner forskjellige variabler. Et slikt datasett kan gi utgangspunkt for en mengde statistiske beregninger og muligheter (Manly 1986). Et statistisk program (her: Minitab) vil enkelt og raskt kunne sjekke forskjellige kombinasjoner av variable og parametre til teknikkene. Profiler er derfor godt skikket for statistiske analyser.

Noe som ikke er gjort her, men som også kunne vært utført for å sjekke den gjensidige avhengigheten av variablene, er prinsipal komponent analyse og faktor analyse (Weibel og DeLotto 1988).

## Terrengparametre/Variabler

Ved kvantifisering av former støter man på problemet med å definere formen og også hvilke terrengparametre som er representative for formen. Det er ønskelig med parametre som beskriver landformen. Terrengparametre blir variable i en multivariat statistisk analyse. Det å beskrive landformen, kan føre til en mengde variabler, og det blir ofte gjort beregninger for å finne uavhengige variabler. Det er nyttig under valget av variabler, med kunnskap om formen til objektet. Målet vil være å finne færrest mulig variabler som beskriver mest mulig av formen. Det kan være andre variable som beskriver skråningsprofiler bedre, eller som sammen med de valgte variablene kunne styrket resultatene. Med resultater tenkes det her på utfallet av styrt- og ikke -styrt klassifikasjon. Det er sannsynligvis valget av variabler som har størst påvirkning på de endelige resultatene av en cluster analyse (Anderberg 1973). Det finnes flere metoder for å beregne mange av de benyttede terrengparametrene, og valg av beregningsmetode vil derfor påvirke utfallet.

Forskjellige statistiske teknikker stiller forskjellige krav til dataene, her variabelverdiene. Det kan være krav som tilfeldighet, uavhengighet, normalfordelt utvalg eller skala uavhengige data (Anderberg 1973, Manly 1986). Utvalget av variabelverdier er bestemt av formen til objektet, som igjen er avhengig av profilene algoritmen produserer. Det er den digitale høydemodellen, sammen med terskelverdier, som påvirker algoritmen. Variablene ble sjekket for uavhengighet. Hvis det allikevel skal vise seg at en eller flere forutsetninger ikke er innfridd, vil ikke det nødvendigvis være det samme som om diskriminantfunksjonsanalysen var bortkastet tid. Det kan like gjerne vise seg at utmerket diskriminasjon er mulig på et ikke-normalt utvalg (Manly 1986). Dataene kan standardiseres til å ha et felles gjennomsnitt og felles max, min verdier, for eksempel innenfor intervallene  $[0,1]$

eller  $[-1,1]$ . Variablene i denne oppgaven er ikke standardisert før analysene. Det er ikke nødvendig for resultatene å ha standardiserte variabler i en styrt klassifikasjon (Manly 1986). I den ikke-styrte klassifikasjonen kunne en standardisering gi andre og kanskje bedre resultater. Standardisering av variablene er utelatt for lettere å sammenligne de forskjellige klassifikasjonsresultatene. Det samme gjelder for korrelasjonsmatrisen som består av variabler med forskjellig enhet. Det er ønskelig å tolke variabelverdiene til de forskjellige gruppene etter en klassifikasjon. Dette blir mindre intuitivt hvis variablene er standardiserte, da variabelverdiene også vil befinne seg innenfor standardiseringsintervallet.

## Klassifikasjon av skråningsprofiler

Det er utført styrt klassifikasjon (eng. discriminant analysis) og ikke-styrt klassifikasjon (eng. cluster analysis). Weibel og DeLotto (1988) peker på begrensninger i bruken av cluster analyse og diskriminant analyse når det gjelder anvendelse på romlige data. En fundamental forutsetning for disse metodene er at et elements tolkning bare avhenger av dens attributtkarakteristikker, og ikke av dens plassering i bildet eller av tolkningen av naboelementer. Dette har større betydning for generell geomorfometri enn for spesiell geomorfometri. I tillegg er det skråningsprofilobjekter som analyseres, og naboskapet er allerede bestemt. Objektene med sine attributter vil derfor passe inn i en statistisk klassifikasjon.

Analytikeren støter på et forvirrende problem når han/hun er tvunget til å velge blant utvalget av klassifikasjonsteknikker for analysen. Det store antallet alternativer gjør det vanskelig å si at en bestemt teknikk er et klart bedre valg for problemet under behandling (Anderberg 1973). Det er foretatt et valg av klassifikasjonsteknikker. Andre teknikker kunne ført til andre resultater. Hvor mange klasser sluttinndelingen i en ikke-styrt klassifikasjon skal ha, er et valg som må foretas og som innvirker på resultatene. Hierarkisk clustering fungerer slik at til slutt vil alle observasjonene være i en klasse, og det må derfor bestemmes når clusteringen skal avslutte. I utgangspunktet var det her ønskelig med en klasse som inneholdt V-dals profiler og en klasse med andre profiler.

Selv når dataene er helt tilfeldige, vil det danne seg grupper ved klassifisering. Det blir derfor ofte utført en hypotesetesting av verdiene fra en klassifikasjon. En signifikanttesting av resultatene ville krevd strengere krav til dataene (Manly 1986). I dette tilfellet er det ikke nødvendig. Det er grunn til å tro at det finnes en struktur i dataene og at dette vil gi utslag i forskjellige klasser.

Resultatene er forevist visuelt, det ble gitt oversikt over gruppeplassering av treningsprofiler, og feilmatriser ble beregnet. Klassifikasjon av treningsprofilene i de styrte klassifikasjonene plasserte de femten profilene i grupper de i utgangspunktet tilhørte. Det kom klart frem av disse profilene om det var isen eller elven

som hadde formet dalen. Det er et godt resultat, men profilene var ikke tilfeldig utplukket og representere ikke alle profiltyper i modellen. Ikke-styrt klassifikasjon av de samme treningsprofilene ga ikke entydige klasser. Kvaliteten på feilmatrixen er bare så god som den informasjonen som bestemmer referansedataene (Lillesand og Kiefer 2000). Denne informasjonen regnes som god i dette tilfellet. Da alle de fire feilmatrixene ga dårlige resultater, er det trolig på grunn av isbreer i testområdet. Treningsprofilene i de styrt klassifikasjonene inneholder ikke profiler som er innom isbreer, bare eksempler på områder utsatt for fluvial eller glasial erosjon. Dette vil imidlertid ikke påvirke de ikke-styrte klassifikasjonene som opererer uten forhåndskunnskap. Resultatene viste også der at mange profiler som i utgangspunktet ikke er V-dalsprofiler, blir klassifisert som slike. Det er grunn til å tro at isbreene der også må ta på seg mye av skylden. Profiler som starter på en isbree og ender i en godkjent stoppkriterie, har ofte en form der variabelverdiene kan forveksles med variabelverdier for en V-dalsprofil. En løsning på dette, kan være å maskere bort breer eller eventuelt operere med en terrengmodell hvor breene ikke er med i høydemodellen. 30 profiler ble tilfeldig trukket ut som referansedata til feilmatrixene. Det kan argumenteres for at dette tallet er for lite.

Resultatene for styrt klassifikasjon fra testområdene Adventdalen og Jotunheimen var begge basert på diskriminantfunksjonen beregnet med variabelverdier fra Adventdalen. Det multivariate datasettet bestod av 725 profiler med tilhørende variabler. Fra dette datasettet ble det oppgitt at 15 av dem hadde kjent geomorfologisk klasse før klassifikasjonen. Et større antall kjente profiler ville styrket analysene. Testområdene har forskjellig oppløsning, henholdsvis 100 og 25 m, og det ville vært naturlig å ha beregnet en diskriminantfunksjon i hvert av tilfellene. Da dette ikke ble gjort, henger det sammen med målet om automatisering, det vil si om det var mulig å finne variabelverdier som diskriminerte bra nok i flere oppløsninger. Svaret vil her være nei. Det er nødvendig med en parameter som regulerer diskriminantfunksjonen avhengig av skalaen. Best resultater blir det for terrengmodellen med 100 meters oppløsning. Denne oppløsningen fanger formen godt da det er store landformer det er snakk om. 25 meter-modellen er mer utsatt for lokalt støy. En mellomting når det gjelder oppløsningen er fullt mulig, men noe særlig mer enn 100 meter kan redusere informasjonen i terrengmodellen. Forsøket med de to variablene Ratio og Vinkel er interessant da de begge beregnes i algoritmen og muliggjør klassifisering i algoritmen på en enkel måte.

En klassifikasjon av skråningsprofiler vil finne variabelverdier som kan brukes til å skille profiler med V-dalsform fra andre profiler. Det er et mål å utvide algoritmen til å foreta beregninger av disse variabelverdiene, og å utføre en klassifikasjon av skråningsprofilene i selve algoritmen. Dette er ikke gjennomført, men er fullt mulig og nødvendig for en full automatisering av hypotesen.

## Klassifikasjon av V-daler

Skråningsprofiler klassifisert som V-dalsprofiler viser hvor det er daler med denne V-dalsformen. Metoden gir bare noen profiler per dal. Det kunne for eksempel blitt ekstrahert og klassifisert skråningsprofiler fra alle celler som ligger langs den øvre grensebetingelse for startpunkter. En datamaskin vil ikke ha problemer med denne utvidelsen. For denne oppgaven ga kravet om en klassifisert kurvaturverdi et mindre og håndterlig datasett for analysene.

Geomorfologisk interessant blir det hvis en hel dal er trukket ut av terrengmodellen. Man kan da se på volum av V-daler, hvor de ligger i terrenget, dalmønstre og grad av glasial, fluvial erosjon i et område. Algoritmen skiller ut dalområder fra andre områder. Resultatene varierer med formen på landskapet hvor V-dalene befinner seg. Piksler blir nå klassifisert som medlem av dalområder eller ikke medlem av dalområder. Det er også ønskelig å skille ut enkeltdaler fra dalkomplekser. Det er ikke gjennomført. En metode for å dele opp dalene, kunne være å se på og nummerere elvenettverk. Der to elver forgrenes, er det naturlig å skille mellom to daler. En slik metode bygger videre på griddet drenering (eng. flowaccumulation). Når en enkeltdal er skilt fra et dalområde, er en mulig løsning for å se hvilken type dal det er, å se på forholdet mellom skråningsprofiler innenfor dalen. En stor andel V-dalsprofiler tilsier at det er en V-dal.

## Evaluerings

Ekstraksjon av skråningsprofiler fra digitale høydemodeller var vellykket. Klassifikasjon av skråningsprofiler ga ikke et godt nok resultat til benytting omgående, men kan utvikles videre. Ekstraksjon av V-daler er avhengig av omrisset til daler. Den "perfekte" V-dal fungerer fint, en V-dal som skjærer seg ned i en overflate og danner V-formen. Startpunktene vil da befinne seg der dalen begynner å skråne, og profilen vil bygge seg nedover til dalbunnen. Dalsidene vil også fylles igjen av algoritmen, og dalområder blir skilt fra andre områder.

Algoritmen fanger opp daler som har en klar overgang der dalsiden begynner å skråne, noe som er tilfellet der en elv har skåret seg ned i det paleiske landskapet. Den paleiske overflaten, eller former som tilsvarer, er ikke gjeldende overalt. Metoden fanger ikke opp daler der terrenget er kuppert og det ikke er noe klart skille mellom dal og områder rundt dalen.

Metoden er nå ikke helautomatisk. Ved funn av variabler og variabelverdier som kan skille profilene, kan dette implementeres i algoritmen. Det er også gitt forslag til hvordan dalsystemer kan deles opp i enkeltdaler og hvordan en dal kan bli klassifisert som en V-dal.

# Kapittel 6

## Konklusjon

Det er i oppgaven sett på en metode for å ekstrahere terrengprofiler fra digitale høydemodeller. Terrengprofilene ble definert som skråningsprofiler der det stilles geomorfologiske og strukturelle krav. Metoden fungerte godt for høydemodeller med 100 m og 25 m oppløsning, henholdsvis et område på Svalbard og et i Jotunheimen.

Det ble beregnet terrengparametre for hver profil, der det var et mål å finne variabler som fanget morfometrisk informasjon godt nok til å kunne skille mellom geomorfometriske prosesser. Dette resulterte i et multivariat datasett med mulighet for klassifisering av profiler.

Styrt klassifikasjon baserte seg på 15 utvalgte treningsprofiler hvor den geomorfometriske klassen var kjent. Både datasettet med åtte variabler og datasettet med to variabler klassifiserte de femten treningsprofilene til gruppene de i utgangspunktet var medlem av. Feilmatrisene viste derimot dårlige resultater for et tilfeldig utvalg testprofiler. Det ble valgt å dele profilene fra den ikke-styrte klassifikasjonen inn i fem klasser. Hverken datasettet med åtte variabler eller datasettet med to variabler ga klasser som utelukkende inneholdt V-dalsprofiler. Feilmatrisene viste her også dårlige resultater med de tilsvarende testprofilene som for styrt klassifikasjon.

Skråningsprofiler som metode for å se hvor det finnes V-daler, gir alt i alt brukbare resultater i paleiske områder, selv om klassifikasjonsresultatene varierte. Metodene viste at det bare trengs et fåtall av parametre i beregningene. Skråningsprofiler med V-dalsform viser hvor det er daler med den karakteristiske V-dalsformen. Problemet med å skille ut daler som inneholder skråningsprofiler med denne karakteristiske formen fra andre landformer, er ikke tilfredstillende besvart i denne oppgaven, men forslag til metoder er gitt. Klassifisering av dalområder i områder hvor en V-dal har skjært seg ned i et flatt, bølgende landskap, ga gode resultater. Der topografien er mer kuppert, blir større områder enn selve V-dalen tatt med som dalområder.

Det er i områdene hvor resultatene viste seg å være gode, at det også er geomorfologisk interessant med en slik metode. Det er områder hvor V-daler skjærer seg ned i en paleisk-lignende overflate. Her er det interessant å se om det er elven eller isen som har formet dalene. Med tanke på målet om en automatisk klassifisering av V-daler fra digitale høydemodeller, kan dette bare sies å være et første skritt. Muligens et skritt i riktig retning.

Bruk av digitale metoder gir gjentakbare forsøk og fører til en konsekvent prosess, hvor subjektive elementer og antagelser er tydelig beskrevet. En lignende angrepsmåte av problemstillingen som er gjennomført i denne oppgaven, kan føre til identifisering av flere spesifikke landformer innenfor den spesielle geomorfometrien.



# Referanser

- Anderberg, M. R. (1973). *Cluster analysis for applications*, Academic Press, New York.
- Bakker, L., Morad, M. og Lowe, D. J. (1996). Landform classification of the Mamaku Plateau using a digital elevation model, *Proceedings of the Spatial Information Research Centre's 8th Colloquium*, University of Otago, New Zealand, pp. 189–197.
- Blong, R. J. (1975). Hillslope morphometry and classification: A New Zealand example, *Z. Geomorph.* **19**(4): 405–429.
- Bonow, J. M., Lidmar-Bergstrom, K. og Naslund, J. O. (2003). Palaeosurfaces and major valleys in the area of the kjølen mountains, southern norway - consequences of uplift and climatic change, *Norsk Geografisk Tidsskrift* **57**: 83–101.
- Burrough, P. A. og McDonnel, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press.
- Chang, Y.-C., Song, G.-S. og Hsu, S.-K. (1998). Automatic extraction of ridge and valley axes using the profile recognition and polygon-breaking algorithm, *Computers & Geosciences* **24**(1): 83–93.
- Chorowicz, J., Parrot, J.-F., Taud, H., Hakdaoui, M., Rudant, J. og Rouis, T. (1995). Automated pattern-recognition of geomorphic features from dems and satellite images, *Z. Geomorph. Suppl. -Bd.* **101**: 69–84.
- Dehn, M., Gartner, H. og Dikau, R. (2001). Principles of semantic modeling of landform structures, *Computers & Geosciences* **27**(8): 1005–1010.
- DeMers, M. N. (2002). *GIS modeling in raster*, John Wiley & Sons, New York.
- Dikau, R. (1989). The application of a digital relief modell to landform analysis in geomorphology, in J. Raper (ed.), *Three dimensional applications in GIS*, Tayler & Francis, London, pp. 51–77.

- ESRI (2001). Arc/Info Manual, Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc., Redlands USA. Version 8.1.
- Etzelmuller, B. og Sulebak, J. R. (2000). Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology, *Physische Geographie* **41**: 35–58.
- Evans, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics, in R. J. Chorley (ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*, Methuen & Co Ltd, London, pp. 17–90.
- Evans, I. S. (1987). The morphometry of specific landforms, in V. Gardiner (ed.), *International Geomorphology 1986, proceedings of the First international conference on geomorphology, Part II*, pp. 105–124.
- Florinsky, I. V. (1998). Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models, *Int. J. Geographical Information Science* **12**(1): 47–61.
- Gjessing, J. (1966). Some effects of ice erosion on the development of Norwegian valleys and fjords, *Norsk geografisk tidsskrift* **20**: 273–299.
- Gjessing, J. (1990). *Norges landformer*, 3. edn, Universitetsforlaget, Oslo.
- Graff, L. H. og Usery, E. L. (1993). Automated classification of generic terrain features in digital elevation models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **59**(9): 1409–1417.
- Guonian, L., Yadong, Q. og Zhongming, C. (1998). Automated extraction of the characteristics of topography from grid digital elevation data, *Acta Geographica Sinica* **53**(6): 562–570.
- Jones, K. H. (1998). A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the dem, *Computers & Geosciences* **24**(4): 315–323.
- Klemsdal, T. og Sjulsen, O. E. (1988). The Norwegian macro-landforms: definitions, distribution and system of evolution, *Norsk geografisk tidsskrift* **42**: 133–147.
- Lillesand, T. M. og Kiefer, R. W. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4. edn, John Wiley & Sons, New York.
- Manly, B. F. J. (1986). *Multivariate statistical methods*, Chapman and Hall, London.

- Mark, D. (1975). Geomorphometric parameters: A review and evaluation, *Geografiska Annaler* **57A**: 165–177.
- McDermid, G. J. (1995). Hillslope profile analysis with digital elevation models, in H. Epp og C. Taylor (eds), *Proceedings of the Seventeenth Canadian symposium on Remote sensing; radar remote sensing; a tool for realtime land cover monitoring and GIS integration*, pp. 215–220.
- McDermid, G. J. og Franklin, S. E. (1995). Remote sensing and geomorphometric discrimination of slope processes, *Z. Geomorph. Suppl. -Bd.* **101**: 165–185.
- Minitab (2000). Minitab Manual, Minitab Inc. Release 13.0.
- Montgomery, D. R. og Dietrich, W. E. (1992). Channel initiation and the problem of landscape scale, *Science* **255**: 769–892.
- Moore, I. D., Lewis, A. og Gallant, J. C. (1993). Terrain attributes: Estimation methods and scale effects, in A. J. Jakeman (ed.), *Modelling Change in Environmental Systems*, John Wiley & Sons Ltd., pp. 189–214.
- Pike, R. J. (1988). The geometric signature: Quantifying landslide terrain types from dems, *Mathematical Geology* **20**(5): 491–511.
- Pike, R. J. (1995). Geomorphometry - progress, practice and prospect, *Z. Geomorph. Suppl. -Bd.* **101**: 221–238.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis, *Progress in physical geography* **24**: 1–20.
- Qian, Y.-D., Lu, G.-N. og Chen, Z.-M. (2000). Automatic extraction of valley boundary from dems in the hilly loess plateau, *Chinese Geographic Science* **10**(3): 238–244.
- Rasemann, S. og Schmidt, J. (2001). Slope profile analysis as a tool for interpreting landform systems, *Special Publication of the Geographic Information Systems Association Volume 1, DEMSs and Geomorphology; Proceedings of the symposium on New Concepts and Modeling in Geomorphology and Geomorphometry, DEMs and GIS; Fifth international Conference on Geomorphology*, pp. 48–49.
- Ritter, P. (1987). A vector-based slope and aspect generation algorithm, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **53**(8): 1109–1111.
- Rudberg, S. (1982). Dalbildning i den arktiska klimatzonen, *Geografisk Tidsskrift* **82**: 30–36.

- Rudberg, S. (1993). Young fluvial valleys in Scandinavia and in the Arctic compared as to form and possible rate of formation, *Z. Geomorph. Suppl. -Bd.* **93**: 111–126.
- Schmidt, J. og Dikau, R. (1999). Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models - semantics, methods and future needs, in R. Dikau og H. Saurer (eds), *GIS for Earth Surface Systems*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, pp. 153–173.
- Schmidt, J., Merz, B. og Dikau, R. (1998). Morphological structure and hydrological process modelling, *Z. Geomorph. Suppl. -Bd.* **112**: 55–66.
- Sharpnack, D. A. og Akin, G. (1969). An algorithm for computing slope and aspect from elevations, *Photogrammetric Engineering* **35**(3): 247–248.
- Skidmore, A. K. (1990). Terrain position as mapped from a gridded digital elevation model, *Int. J. Geographical information systems* **4**(1): 33–49.
- Sollid, J. L. og Sørbel, L. (1988). Utbredelsesmønstret av løsmateriale og landformer på Svalbard - noen hovedtrekk, *Norsk Geografisk Tidsskrift* **42**: 265–270.
- Tribe, A. (1991). Automated recognition of valley heads from digital elevation models, *Earth Surface Processes and Landforms* **16**: 33–49.
- Tribe, A. (1992). Problems in automated recognition of valley features from digital elevation models and a new method toward their resolution, *Earth Surface Processes and Landforms* **17**: 437–454.
- Walsh, S. J., Butler, D. R. og Malanson, G. P. (1998). An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: A remote sensing and gis perspective, *Geomorphology* **21**: 183–205.
- Weibel, R. og DeLotto, J. S. (1988). Automated terrain classification for GIS modeling, *GIS/LIS 88, Proceedings from the 3rd international conference, San Antonio, ASPRS/ACSM*, pp. 618–627.
- Zevenbergen, L. W. og Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography, *Earth Surface Processes and Landforms* **12**: 47–56.

# Tillegg A

## Programkode

### A.1 Algoritme

Algoritmen produserer et profilArray med godkjente profiler i henhold til oppgavens definisjon av skråningsprofiler. I tillegg beregnes de to parametrene Ratio (valueArray) og Vinkel (angleArray) for hver profil. Algoritmen leser inn ascii-filer av følgende seks grid som er produsert i en førprosseserings-aml: Høyde, helning, gruppert helning, profilkurvatur, klassifisert profilkurvatur og et dreneringssystem. Det er lagt til rette muligheter for å utvide algoritmen til å klassifisere profilene i selve programkoden. Høydeverdier, helningsverdier, profilkurvaturverdier, Ratioverdier og Vinkelverdier blir alle lagt i arrayer og gir muligheter for beregninger.

---

/\*

---

*algoritme.cc*

---

*Filen algoritme.cc består av en rekke funksjoner som kjøres etter hverandre. Den blir startet fra funksjonen <main> i filen funkmod.cc.*

---

10

\*/

**#include** <stdio.h>  
**#include** <stdlib.h>

```

#include <string.h>
#include <math.h>

#include "algoritme.h"

void doAlgoritme()
{

    int index=0;
    double elevationArray[3000][100];
    double slopeArray[3000][100];
    double curvatureArray[3000][100];
    double value[3000][2];

    // Finne ut hvor mange grupper det er.
    // Group inneholder alle gruppene, fra en og oppover.

    double maxgroup=0;

    for(int i=0; i<yrow; i++)
    {
        for(int j=0; j<xrow; j++)
        {
            if(group[i][j]>maxgroup)
                maxgroup = group[i][j];
        }
    }

    printf("\nAlt i alt antall grupper : %g\n", maxgroup);

    // Telle hvor mange pixler det er i hver gruppe.

    int count;
    int groupcount[6000]; // hver gruppe har et antall
    groupcount[0]=0;

    for (int t=1; t<= maxgroup; t++)
    {
        count=0;
        for(int i=0; i<yrow; i++)
        {
            for(int j=0; j<xrow; j++)
            {
                if(group[i][j]==t)
                    count= count + 1;
            }
        }
    }

```

```

    }
    groupcount[t]=count;
}

```

70

*// Terskel på hvor store gruppene kan være.*  
*// Verdien 1 = dalpixel, 0 er ikke.*

```

int sizethreshold= 100000;
printf("\nSize %d", sizethreshold);

for (int t=1; t<= maxgroup; t++)
{
    for(int i=0; i<yrow; i++)
    {
        for(int j=0; j<xrow; j++)
        {
            if(group[i][j]==t)
            {
                if((groupcount[t]*cellsize*cellsize)<=sizethreshold)
                    group[i][j]=0;
                else
                    group[i][j]=1;
            }
        }
    }
}

printf("\nTatt vekk for små grupper\n");

```

80

90

*// Fylle igjen dalsidene.*

100

```

for(int i=1; i<(yrow-1); i++)
{
    for(int j=1; j<(xrow-1); j++)
    {
        if(dem[i][j]==NODATA)
            group[i][j]=NODATA;
        else

        if((dem[i][j] < dem[i][j-1]) && group[i][j-1]==1)
            group[i][j]=1;
        else

        if((dem[i][j] < dem[i-1][j-1]) && group[i-1][j-1]==1)
            group[i][j]=1;
        else

```

110

```

    if((dem[i][j] < dem[i-1][j]) && group[i-1][j]==1)
        group[i][j]=1;
    else
        120

    if((dem[i][j] < dem[i-1][j+1]) && group[i-1][j+1]==1)
        group[i][j]=1;
    else

    if((dem[i][j] < dem[i][j+1]) && group[i][j+1]==1)
        group[i][j]=1;
    else

    if((dem[i][j] < dem[i+1][j+1]) && group[i+1][j+1]==1)
        group[i][j]=1;
    else
        130

    if((dem[i][j] < dem[i+1][j]) && group[i+1][j]==1)
        group[i][j]=1;
    else

    if((dem[i][j] < dem[i+1][j-1]) && group[i+1][j-1]==1)
        group[i][j]=1;
        140
    }
}

printf("\nFylt igjen den ene siden\n");

// For å få med alle punkter, må algoritmen også gå
// nedefra og opp.

for(int i=(yrow-2); i>0; i--)
{
    for(int j=(xrow-2); j>0; j--)
    {
        if(dem[i][j]==NODATA)
            group[i][j]=NODATA;
        else

        if((dem[i][j] < dem[i][j-1]) && group[i][j-1]==1)
            group[i][j]=1;
        else
            160

        if((dem[i][j] < dem[i-1][j-1]) && group[i-1][j-1]==1)
            group[i][j]=1;
        else

        if((dem[i][j] < dem[i-1][j]) && group[i-1][j]==1)

```



```

        group[i][j]=1;
    else

        if((dem[i][j] < dem[i-1][j+1]) && group[i-1][j+1]==1)
            group[i][j]=1;
        else

            if((dem[i][j] < dem[i][j+1]) && group[i][j+1]==1)
                group[i][j]=1;
            else

                if((dem[i][j] < dem[i+1][j+1]) && group[i+1][j+1]==1)
                    group[i][j]=1;
                else

                    if((dem[i][j] < dem[i+1][j]) && group[i+1][j]==1)
                        group[i][j]=1;
                    else

                        if((dem[i][j] < dem[i+1][j-1]) && group[i+1][j-1]==1)
                            group[i][j]=1;

    }
}

printf("\nFylt igjen den andre siden\n\n");

```

*// Finne omrisset til dalene, "borderlines"*

```

double sum;
for(int i=1; i<(yrow-1); i++)
{
    for(int j=1; j<(xrow-1); j++)
    {
        sum = group[i][j-1]    + group[i-1][j-1] + group[i-1][j]
              + group[i-1][j+1] + group[i][j+1]    + group[i+1][j+1]
              + group[i+1][j]    + group[i+1][j-1];
        if(group[i][j]==1 && sum>2 && sum<8)
            border[i][j]=1;
        else
            border[i][j]=0;
    }
}

```

*// Finne seedpunkter*

*// Overlay med profilkurvatur*

```

int see=0;
for(int i=0; i<yrow; i++)
{
    for(int j=0; j<xrow; j++)
    {
        if(border[i][j]==1 && curvclass[i][j]==1)
        {
            seed[i][j]=1;
            see=see+1;
        }
        else
            seed[i][j]=0;
    }
}
printf("Antall seed:\n %d ", see);

```

220  
230

*// unngå seed-naboer, blir for tett og liten vits*

```

for(int i=1; i<(yrow-1); i++)
{
    for(int j=1; j<(xrow-1); j++)
    {
        if(seed[i][j]==1)
        {
            seed[i][j-1]    = 0; seed[i-1][j-1] = 0;   seed[i-1][j] = 0;
            seed[i-1][j+1] = 0; seed[i][j+1]    = 0;   seed[i+1][j+1] = 0;
            seed[i+1][j]    = 0; seed[i+1][j-1] = 0;
        }
    }
}

```

240  
250

*// Profilbygging*

```

int spacefalse=0;
int borderfalse=0;
int rulefalse=0;
int flowfalse=0;
int crossfalse=0;
bool more=true;
int space;
for(int p=1; p<(yrow-1); p++)
{
    for(int q=1; q<(xrow-1); q++)

```

260

```

{
  if(index>1999)
  {
    // For mange profiler å håndtere
  }

else
if(seed[p][q]==1)
  //når velger startpunkter interaktivt
  //if(points[p][q] != NODATA)
  {
    more=true;
    index = index + 1;
    space = 1;
    int i=p;
    int j=q;
    elevationArray[index][space]= dem[i][j];
    slopeArray[index][space]= slope[i][j];
    //curvatureArray[index][space]= curvature[i][j];
    //profilArray[i][j] = index;
    space = 2;

    while(more)
    {

      if(space>30)
      {
        spacefalse=spacefalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
      }

      else
      if(i==1 || i==yrow || j==1 || j==xrow || dem[i][j]==NODATA)
      {
        borderfalse=borderfalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
      }

      else
      if(fbw[i][j]==1)
      {
        fbwfalse=fbwfalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=1;
      }

      else

```

```

{

    if(dem[i][j-1]<=dem[i][j])
        tempDem[i][j-1]=dem[i][j-1];
    else
        tempDem[i][j-1]=2468;

    if(dem[i-1][j-1]<=dem[i][j])
        tempDem[i-1][j-1]=dem[i-1][j-1];
    else
        tempDem[i-1][j-1]=2468;

    if(dem[i-1][j]<=dem[i][j])
        tempDem[i-1][j]=dem[i-1][j];
    else
        tempDem[i-1][j]=2468;

    if(dem[i-1][j+1]<=dem[i][j])
        tempDem[i-1][j+1]=dem[i-1][j+1];
    else
        tempDem[i-1][j+1]=2468;

    if(dem[i][j+1]<=dem[i][j])
        tempDem[i][j+1]=dem[i][j+1];
    else
        tempDem[i][j+1]=2468;

    if(dem[i+1][j+1]<=dem[i][j])
        tempDem[i+1][j+1]=dem[i+1][j+1];
    else
        tempDem[i+1][j+1]=2468;

    if(dem[i+1][j]<=dem[i][j])
        tempDem[i+1][j]=dem[i+1][j];
    else
        tempDem[i+1][j]=2468;

    if(dem[i+1][j-1]<=dem[i][j])
        tempDem[i+1][j-1]=dem[i+1][j-1];
    else
        tempDem[i+1][j-1]=2468;

    if((tempDem[i][j-1]<2468) &&
        (tempDem[i][j-1]<tempDem[i-1][j-1]) &&
        (tempDem[i][j-1]<tempDem[i-1][j]) &&
        (tempDem[i][j-1]<tempDem[i-1][j+1]) &&
        (tempDem[i][j-1]<tempDem[i][j+1]) &&
        (tempDem[i][j-1]<tempDem[i+1][j+1]) &&

```

```

    (tempDem[i][j-1]<tempDem[i+1][j]) &&
    (tempDem[i][j-1]<tempDem[i+1][j-1]))
  {
    elevationArray[index][space]= dem[i][j-1];
    //slopeArray[index][space]= slope[i][j-1];
    //curvatureArray[index][space]= curvature[i][j-1];

    if(profi lArray[i][j-1]!=0)
    {
      crossfalse=crossfalse+1;
      more=false;
      elevationArray[index][99]=0;
    }
    else
    {
      profi lArray[i][j-1] = index;
      more=true;
    }
    space = space+1;
    i = i;
    j = j-1;
  }
else

if((tempDem[i-1][j-1]<2468) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i][j-1]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i-1][j]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i-1][j+1]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i][j+1]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i+1][j+1]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i+1][j]) &&
  (tempDem[i-1][j-1]<tempDem[i+1][j-1]))
{
  elevationArray[index][space]= dem[i-1][j-1];
  //slopeArray[index][space]= slope[i-1][j-1];
  //curvatureArray[index][space]= curvature[i-1][j-1];

  if(profi lArray[i-1][j-1]!=0)
  {
    crossfalse=crossfalse+1;
    more=false;
    elevationArray[index][99]=0;
  }
  else
  {
    profi lArray[i-1][j-1] = index;
    more=true;
  }
}

```

```

        space = space+1;
        i = i-1;
        j = j-1;
    }
else

    if((tempDem[i-1][j]<2468) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i][j-1]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i-1][j-1]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i-1][j+1]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i][j+1]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i+1][j+1]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i+1][j]) &&
        (tempDem[i-1][j]<tempDem[i+1][j-1]))
    {
        elevationArray[index][space]= dem[i-1][j];
        //slopeArray[index][space]= slope[i-1][j];
        //curvatureArray[index][space]= curvature[i-1][j];
    }
    if(profilArray[i-1][j]!=0)
    {
        crossfalse=crossfalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
    }
    else
    {
        profilArray[i-1][j] = index;
        more=true;
    }
    space = space+1;
    i = i-1;
    j = j;
}
else

    if((tempDem[i-1][j+1]<2468) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i][j-1]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i-1][j-1]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i-1][j]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i][j+1]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i+1][j+1]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i+1][j]) &&
        (tempDem[i-1][j+1]<tempDem[i+1][j-1]))
    {
        elevationArray[index][space]= dem[i-1][j+1];
        //slopeArray[index][space]= slope[i-1][j+1];
    }

```

```

//curvatureArray[index][space]= curvature[i-1][j+1];

if(profilArray[i-1][j+1]!=0)
{
    crossfalse=crossfalse+1;
    more=false;
    elevationArray[index][99]=0;
}
else
{
    profilArray[i-1][j+1] = index;
    more=true;
}
space = space+1;
i = i-1;
j = j+1;
}
else

if((tempDem[i][j+1]<2468) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i][j-1]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i-1][j-1]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i-1][j]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i-1][j+1]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i+1][j+1]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i+1][j]) &&
(tempDem[i][j+1]<tempDem[i+1][j-1]))
{
    elevationArray[index][space]= dem[i][j+1];
    //slopeArray[index][space]= slope[i][j+1];
    //curvatureArray[index][space]= curvature[i][j+1];

    if(profilArray[i][j+1]!=0)
    {
        crossfalse=crossfalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
    }
    else
    {
        profilArray[i][j+1] = index;
        more=true;
    }
    space = space+1;
    i = i;
    j = j+1;
}
else

```

510

```

if((tempDem[i+1][j+1]<2468) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i][j-1]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i-1][j-1]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i-1][j]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i-1][j+1]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i][j+1]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i+1][j]) &&
    (tempDem[i+1][j+1]<tempDem[i+1][j-1]))
{
    elevationArray[index][space]= dem[i+1][j+1];
    //slopeArray[index][space]= slope[i+1][j+1];
    //curvatureArray[index][space]= curvature[i+1][j+1];

    if(profilArray[i+1][j+1]!=0)
    {
        crossfalse=crossfalse+1;
        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
    }
    else
    {
        profilArray[i+1][j+1] = index;
        more=true;
    }
    space = space+1;
    i = i+1;
    j = j+1;
}
else

```

520

530

540

```

if((tempDem[i+1][j]<2468) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i][j-1]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i-1][j-1]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i-1][j]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i-1][j+1]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i][j+1]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i+1][j+1]) &&
    (tempDem[i+1][j]<tempDem[i+1][j-1]))
{
    elevationArray[index][space]= dem[i+1][j];
    //slopeArray[index][space]= slope[i+1][j];
    //curvatureArray[index][space]= curvature[i+1][j];

    if(profilArray[i+1][j]!=0)
    {
        crossfalse=crossfalse+1;
    }
}

```

550



```

        more=false;
        elevationArray[index][99]=0;
    }
    else
    {
        profilArray[i+1][j] = index;
        more=true;
    }
    space = space+1;
    i = i+1;
    j = j;
}
else
    if((tempDem[i+1][j-1]<2468) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i][j-1]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i-1][j-1]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i-1][j]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i-1][j+1]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i][j+1]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i+1][j+1]) &&
        (tempDem[i+1][j-1]<tempDem[i+1][j]))
    {
        elevationArray[index][space]= dem[i+1][j-1];
        //slopeArray[index][space]= slope[i+1][j-1];
        //curvatureArray[index][space]= curvature[i+1][j-1];

        if(profilArray[i+1][j-1]!=0)
        {
            crossfalse=crossfalse+1;
            more=false;
            elevationArray[index][99]=0;
        }
        else
        {
            profilArray[i+1][j-1] = index;
            more=true;
        }
        space = space+1;
        i = i+1;
        j = j-1;
    }
else
    {
        rulefalse=rulefalse+1;
        more = false;
        elevationArray[index][99] = 0;
    }

```

```

        }
    }
    elevationArray[index][0]=space-1;
}
}

if(index>1999)
    printf("For mange seed, beholder de to tusen første\n");

printf("\n\nAlt i alt: Index: %d", index);

// Fjerne for små profiler. Når en eller to pixler,
// eller mindre enn en størrelsesthreshold?

int tosmall=0;
for(int k=1; k<(index+1); k++)
{
    if(elevationArray[k][99]!=0 && elevationArray[k][0]<3)
    {
        tosmall=tosmall+1;
        elevationArray[k][99]=0;
    }
}

printf("\n\n Antall for små: %d ", tosmall);

// Grid over godkjente profiler

int refused=0;
for(int k=1; k<(index+1); k++)
{
    if(elevationArray[k][99]==0)
    {
        refused=refused+1;
        for(int i=0; i<yrow; i++)
        {
            for(int j=0; j<xrow; j++)
            {
                if(profilArray[i][j]==k)
                profilArray[i][j]=0;
            }
        }
    }
}

```

```

printf("\n\n Spacefalse: %d ", spacefalse);
printf("\n Borderfalse: %d ", borderfalse);
printf("\n Rulefalse: %d ", rulefalse);
printf("\n Crossfalse: %d ", crossfalse);
printf("\n Flowfalse: %d ", fbwfalse);

```

660

```

printf("\n\nAntall profiler ikke godkjent: %d (av i alt %d)", refused, index);

```

```

int god;
god=index-refused;
printf("\n\nGodkjent: %d (av i alt %d)\n", god, index);

```

```

// Value og angle parameter funksjonen

```

670

```

double distance=0;
int dist=0;
double max=0;
double min=0;
double a=0;
double b=0;
double range=0;
double maxrange=0;
double dimensionless=0;
double angle = 0;
double line=0;
double height=0;
for(int k=1; k<(index+1); k++)
{
    if(elevationArray[k][99]==1)
    {
        distance = elevationArray[k][0];
        dist = int(distance);
        max = elevationArray[k][1];
        min = elevationArray[k][dist];
        a = (max-min)/((distance-1)*cellsize);
        b = max;

```

680

```

        range=0;
        maxrange=0;
        dimensionless=0;
        angle = 0;
        line = 0;
        height = 0;

```

700

```

for(int m=1; m<(dist+1); m++)
{
    line = b - (a * (m-1) * cellsize);
    height = elevationArray[k][m];

```

690

```

        range = line - height;

        if(range>maxrange)
            maxrange = range;
    }

    dimensionless = (maxrange / (max - min)) * 100;
    angle = (atan(a)/(2*3.1415926535))*360;
    value[k][0] = dimensionless;
    value[k][1] = angle;
}

}

// Lage et valueArray og angleArray hvor valuer og angler vises som profiler
for(int k=1; k<(index+1); k++)
{
    if(elevationArray[k][99]==1)
    {
        for(int i=0; i<yrow; i++)
        {
            for(int j=0; j<xrow; j++)
            {
                if(profileArray[i][j]==k)
                {
                    valueArray[i][j]=value[k][0];
                    angleArray[i][j]=value[k][1];
                }
            }
        }
    }
}

}

```

710

720

730

740

---

```
/*
```

---

```
    algoritme.h
```

---

```
Header filen til algoritme.cc
```

10

---

```
*/
```

```
# ifndef ALGORITME_H  
# define ALGORITME_H
```

```
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <string.h>  
#include <math.h>
```

20

```
extern double **dem, **group, **border, **slope, **fbw, **tempDem;  
extern double **seed, **curvature, **curvclass, **profilArray, **resultArray;  
extern double **points, **valueArray, **angleArray;  
extern int xrow, yrow, NODATA;  
extern double cellsize;
```

```
void doAlgoritme();
```

30

```
# endif
```

---

## A.2 Lese/skrive funksjoner

---



---

```
/*
```

---

```
    funkmod.cc
```

---

*Inneholder funksjoner for å opprette matriser i riktig størrelse til innlesing og bearbeiding av data fra grid digitale terrengmodeller, inn og utlesingsprosedyrer og funksjonen <main>.*

---

10

```
*/
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
```

20

```
#include "algoritme.h"
```

```
int NODATA, xrow, yrow;
double xllcorner, yllcorner, cellsize;
```

```
double **dem, **group, **border, **seed, **slope, **tempDem, **points;
double **curvature, **curvclass, **fbw, **profilArray, **resultArray;
double **valueArray, **angleArray;
```

30

```
void initialization(char* filename)
{
```

```
    FILE* fs;
```

```
    char dump[14];
```

```
    if((fs=fopen(filename, "r"))!=NULL)
    {
```

```
        printf("\nFile for initialization is opened");
```

```
        fscanf(fs, "%s%d\n", dump, &xrow);
```

```
        fscanf(fs, "%s%d\n", dump, &yrow);
```

```
        fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, &xllcorner);
```

```
        fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, &yllcorner);
```

```
        fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, &cellsize);
```

```
        fscanf(fs, "%s%d\n", dump, &NODATA);
```

40

```

printf("\n\nInitialization : ");
printf("\n xrow,yrow: %d %d", xrow, yrow);
printf("\n xll,yll,cell: %lf %lf %lf\n",xllcorner, yllcorner, cellsize);
fclose(fs);
}

else
printf("\nCould not open file");
}

void createMatrix(double **&a)
{
double ** a_2d = new double * [yrow];
for(int i=0; i<yrow; ++i)
a_2d[i] = new double [xrow];
a = a_2d;
}

void readARCasii(char* fi lename, double **a)
{
FILE* fs;
double zvalue;
char dump[14];

printf("\nreadARCasii: %s", fi lename);
if((fs=fopen(fi lename,"r"))!=NULL)
{
printf("\nFile is opened\n");
fscanf(fs, "%s%d\n", dump, dump);
fscanf(fs, "%s%d\n", dump, dump);
fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, dump);
fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, dump);
fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, dump);
fscanf(fs, "%s%lf\n", dump, dump);

for(int i=0; i<yrow; i++)
{
for(int j=0; j<xrow; j++)
{
fscanf(fs, "%lf", &zvalue);
a[i][j] = zvalue;
}
}
printf("a: ");
printf("%g %g \n", a[300][300], a[223][254]);
fclose(fs);
}
}

```

```

    }
    else
        printf("\nCould not open file");
}

```

100

```

void writeARCCascii(char* fi lename, double **a)

```

```

{
    FILE* fs;

    if((fs=fopen(fi lename, "w"))!=NULL)
    {
        printf("\nWriting to file %s", fi lename);
        fprintf(fs, "%s%d\n", "ncols", xrow);
        fprintf(fs, "%s%d\n", "nrows", yrow);
        fprintf(fs, "%s%lf\n", "xllcorner", xllcorner);
        fprintf(fs, "%s%lf\n", "yllcorner", yllcorner);
        fprintf(fs, "%s%lf\n", "cellsize", cellsize);
        fprintf(fs, "%s%d\n", "NODATA_value", NODATA);

        for(int i=0; i<yrow; i++)
        {
            for(int j=0; j<xrow; j++)
            {
                fprintf(fs, "%g ", a[i][j]);
            }
        }
        fclose(fs);
    }
    else
        printf("Could not write to file");
}

```

110

120

```

void main()

```

130

```

{
    // setter variabelverdier
    initialization("dem_file");
    printf("\nCellsize: %g\n", cellsize);

```

```

    createMatrix(group);
    createMatrix(curvclass);
    createMatrix(dem);
    createMatrix(slope);
    createMatrix(curvature);
    createMatrix(fbw);

```

140



```
createMatrix(border);
createMatrix(seed);
createMatrix(profilArray);
createMatrix(resultArray);
createMatrix(valueArray);
createMatrix(angleArray);
createMatrix(tempDem);
createMatrix(points);

readARCAscii("group_file", group);
readARCAscii("curvclass_file", curvclass);
readARCAscii("dem_file", dem);
readARCAscii("slope_file", slope);
readARCAscii("curvature_file", curvature);
readARCAscii("flow_file", fbw);
//readARCAscii("points_file", points);

printf("\nBegynner på algoritmen");
doAlgoritme();
printf("\nFerdig med algoritme\n");

writeARCAscii("profil_file", profilArray);
writeARCAscii("result_file", resultArray);
writeARCAscii("value_file", valueArray);
writeARCAscii("angle_file", angleArray);

printf("\n\nEnd of program\n\n");

}
```

---



# Tillegg B

## Arc Macro Language (aml)

### B.1 Før algoritmen

```
/* Usage: &run pre.aml <input_dem> */

&args input

&type
&type tegner grid med skygge
&type

GRID

shade = HILLSHADE (%input%)
DISP 9999
MAPEX shade
GRIDPAINT shade # identity # gray

&type
&type beregner kurvatur og helning...
&type

temp = CURVATURE(%input%, curvature, #, slope, #)

&type
&type klassifiserer og grupperer slope...
```

&type

```
/* #remap table reclass_slope */
/*  0 12 : 0      */
/* 12 50 : 1      */
```

```
class_slope = RECLASS(slope, reclass_slope)
group = REGIONGROUP(class_slope, #, eight, cross, 0)
```

&type  
&type klassifiserer kurvatur...  
&type

```
/* #remap table reclass_curvature */
/* -3 -0.3 : 1      */
/* -0.3 3 : 0       */
```

```
curvclass = RECLASS(curvature, reclass_curvature)
```

&type  
&type lager et flow grid...  
&type

/\* Først fyller sinks \*/

```
FILL %input% flow_fill sink
flowdir = FLOWDIRECTION(flow_fill)
flowacc = FLOWACCUMULATION(flowdir)
```

```
/* #remap table reclass_flow */
/*  0 50 : 0      */
/* 50 50000 : 1   */
```

```
flow = RECLASS(flowacc, reclass_flow)
```

Q

&type  
&type konverterer til ascii filer...  
&type

```
/* Det er disse seks filene som er input til algoritmen */

GRIDASCII %input%  dem_file
GRIDASCII slope    slope_file
GRIDASCII group     group_file
GRIDASCII curvature curvature_file
GRIDASCII curvclass curvclass_file
GRIDASCII flow      flow_file

KILL slope
KILL group
KILL curvature
KILL curvclass
KILL temp
KILL class_slope
KILL flow_fill
KILL flowdir
KILL flowacc
KILL flow
KILL shade

rm dem_file.prj
rm slope_file.prj
rm group_file.prj
rm curvature_file.prj
rm curvclass_file.prj
rm flow_file.prj

&return
```

## B.2 Etter algoritmen

```
/* Ascii filer brukt i algoritmen kan nå slettes */

rm dem_file
rm slope_file
rm group_file
rm curvature_file
```

```
rm curvclass_file
rm flow_file

&type
&type konverterer ascii til grid
&type

/* resultater */

ASCIIGRID profil_file profil
ASCIIGRID value_file ratio
ASCIIGRID angle_file angle

rm profil_file
rm value_file
rm angle_file

/***** visualisering *****/

GRID

DISP 9999
MAPEX profil
GRIDPAINT profil # linear # gray

&return
```

### B.3 Manuelt valg av startpunkter

En annen infallsvinkel til startpunkter for algoritmen er å velge punkter interaktivt. Disse må tilfredstille de samme krav som de "tilfeldige" startpunktene. Punktene må altså ligge langs omrisset av dalene. (Overlay mellom border og point i algoritmen.) Skal profiler sammenlignes må variablene som blir beregnet og profilene selv, bygge på samme definisjoner.

```
&args input
```

```
grid
disp 9999
mapex %input%
gridpaint %input% # identity # grey

/* Velge punkter */

points = selectpoint(%input%, *, inside)

q

/* Konvertere til ascii slik at kan */
/* leses inn i algoritmen          */

gridascii points points_file

kill points

&return
```

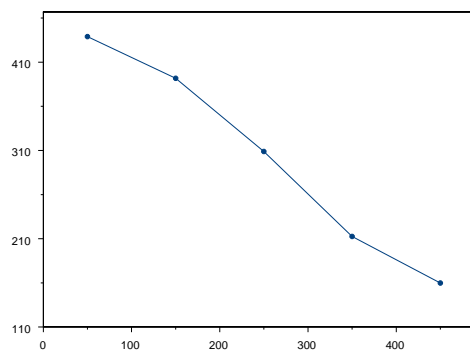




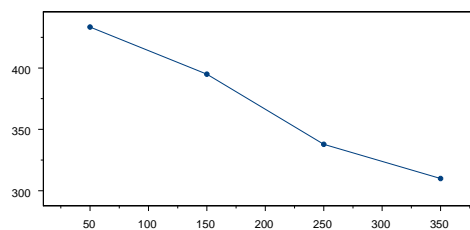
## **Tillegg C**

### **Treningsprofiler for styrt klassifikasjon**

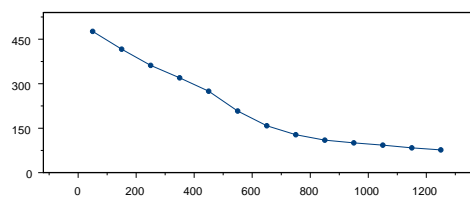
Figur C.1, C.2, C.3, C.4 og C.5 viser treningsprofiler benyttet som referansedata i styrt klassifikasjon 8 variable og styrt klassifikasjon 2 variable. Profilene er forhåndsinn delt i de to gruppene V-dalsprofiler og Andre profiler. "Ground truth" informasjon er hentet fra et geomorfologisk og kvartærgeologisk kart over området, og ved muntlig konsultasjon fra en person som kjenner området. Profilnumrene refererer til figur 4.1.



(a) Profi l 1. V-dal profi l

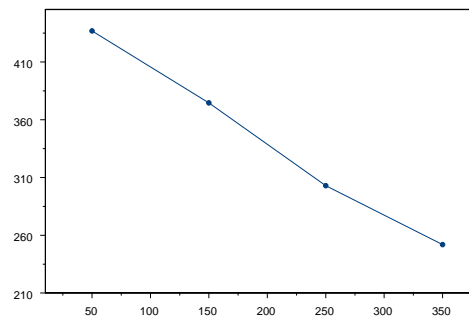


(b) Profi l 2. V-dal profi l

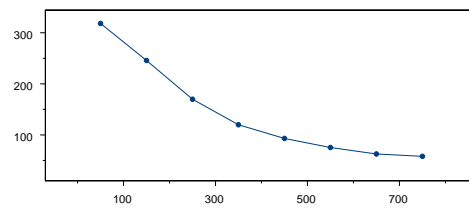


(c) Profi l 3. Annet profi l

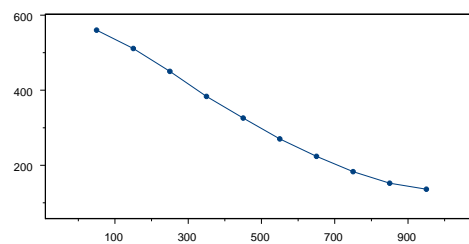
Figur C.1: Utvalgte profiler. Numrene refererer til figur 4.1.



(a) Profi l 4. V-dal profi l

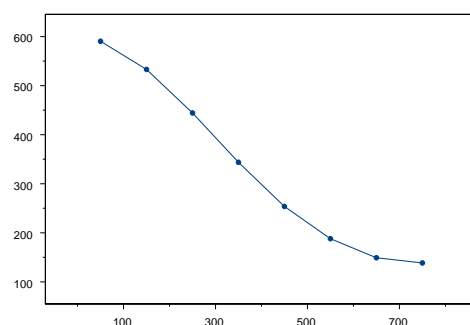


(b) Profi l 5. Annet profi l

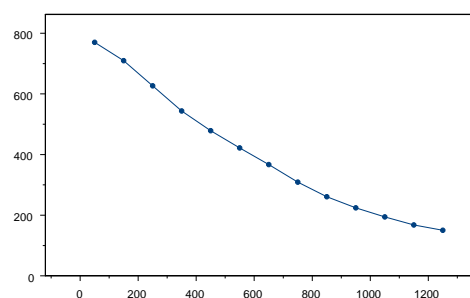


(c) Profi l 6. V-dal profi l

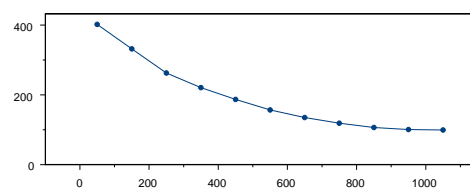
Figur C.2: Utvalgte profiler. Numrene refererer til figur 4.1.



(a) Profil 17. V-dal profil 1

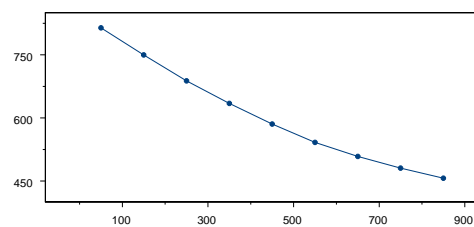


(b) Profil 18. V-dal profil 1

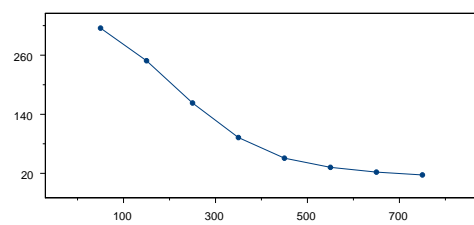


(c) Profil 19. Annet profil 1

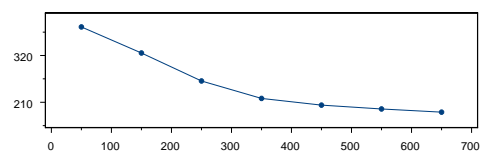
Figur C.3: Utvalgte profiler. Numrene refererer til figur 4.1.



(a) Profil 10. V-dal profil

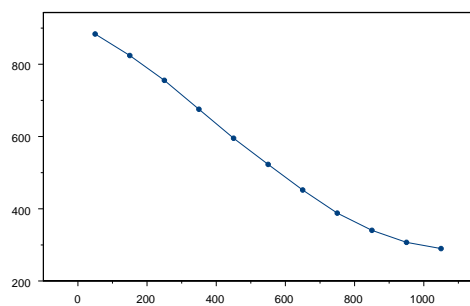


(b) Profil 11. Annet profil

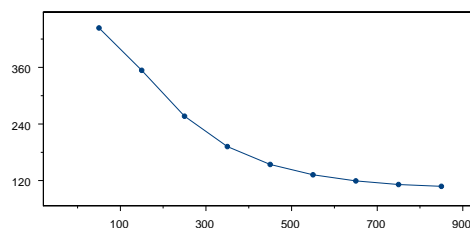


(c) Profil 12. Annet profil

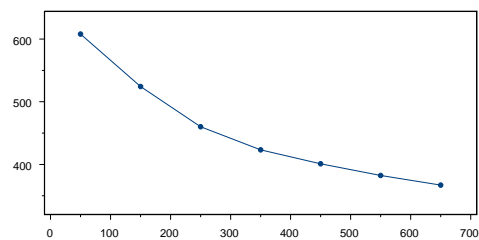
Figur C.4: Utvalgte profiler. Numrene refererer til figur 4.1.



(a) Profil 13. V-dal profil



(b) Profil 14. Annet profil



(c) Profil 15. Annet profil

Figur C.5: Utvalgte profiler. Numrene refererer til figur 4.1.